

MICHIO KAKU

WIZJE

**czyli jak nauka zmieni świat
w XXI wieku**

Przełożył Karol Pesz

Tytuł oryginału angielskiego

VISIONS

How Science Will Revolutionize the 21st Century

SPIS RZECZY

Przedmowa

CZĘŚĆ I: WIZJE

1 Choreografowie materii, życia i inteligencji

CZĘŚĆ II: REWOLUCJA KOMPUTEROWA

2 Niewidzialny komputer

3 Inteligentna planeta

4 Myślące maszyny

5 Krzem i co potem?

6 Po dłuższym namyśle

CZĘŚĆ III: REWOLUCJA BIOMOLEKULARNA

7 Osobiste sekwencje nukleotydów

8 Walka z rakiem, czyli naprawa genów

9 Medycyna molekularna i zjawiska psychosomatyczne

10 Życie wieczne?

11 Zabawa w Pana Boga

12 Po dłuższym namyśle

CZĘŚĆ IV: REWOLUCJA KWANTOWA

13 Przyszłość kwantowa

14 Droga do gwiazd

15 W stronę cywilizacji planetarnej

16 Mistrzowie czasu i przestrzeni

Przypisy

Literatura uzupełniająca

O autorze

PRZEDMOWA

Jest to książka o nieograniczonych perspektywach rozwoju nauki, techniki i technologii, o tym, co czeka świat w następnych stuleciach.

Książka, która dokładnie i wszechstronnie ukazuje ekscytujący i burzliwy rozwój nauki, nie mogłaby oczywiście powstać bez wiedzy i mądrości uczonych budujących drogę ku przyszłości.

Przewidywanie przyszłości jest wszakże zadaniem przekraczającym siły jednego człowieka. Zakres ludzkiej wiedzy jest po prostu zbyt szeroki. Większość prognoz dotyczących przyszłości nauki okazała się błędna właśnie dlatego, że odzwierciedlały one jedynie indywidualny punkt widzenia swoich twórców.

Z *Wizjami* jest inaczej. Zbierając w ciągu 10 lat materiały do licznych książek, artykułów i komentarzy naukowych, rozmawiałem z ponad stu pięćdziesięcioma uczonymi reprezentującymi różne dziedziny wiedzy.

To dzięki tym rozmowom podjąłem próbę nakreślenia czasowych ram realizacji niektórych przepowiedni. Uczni spodziewają się, że pewne przewidywania ziszczą się jeszcze przed 2020 rokiem, inne zaś znacznie później, w latach 2050-2100. Toteż nie wszystkie prognozy mają tę samą wagę. Horyzonty czasowe nakreślone w tej książce powinny być traktowane jedynie jako wskazówki, w przybliżeniu określające termin, w którym pewne trendy oraz technologie mogą ujrzeć światło dzienne.

Układ książki jest następujący. W pierwszej części podejmuję temat przyszłych osiągnięć techniki komputerowej, która już teraz wywiera silny wpływ na gospodarkę, komunikację i styl życia. Pewnego dnia układy inteligentne pojawią się zapewne w każdym zakątku naszej planety. W części drugiej zajmuję się przewrotem dokonującym się w biologii molekularnej. To dzięki rozwojowi tej właśnie dziedziny będziemy mogli przekształcać istniejące już formy życia i konstruować nowe, dotychczas nieznanne, a także tworzyć nowocześniejsze leki i metody leczenia. Trzecia część *Wizji* jest poświęcona rewolucji w kwantowym obrazie świata, która doprowadzi być może do tego, iż w przyszłości zapanujemy nad materią.

Chciałbym podziękować wymienionym niżej uczonym, którzy w trakcie pisania tej książki podzielili się ze mną swoją wiedzą i poglądami oraz poświęcili mi swój czas:

Walter Gilbert, laureat Nagrody Nobla z chemii, Uniwersytet Harvarda

Murray Gell-Mann, laureat Nagrody Nobla z fizyki, Instytut Santa Fe

Henry Kendall, laureat Nagrody Nobla z fizyki, MIT

Leon Lederman, laureat Nagrody Nobla z fizyki, Politechnika Illinois

Steven Weinberg, laureat Nagrody Nobla z fizyki, Uniwersytet Teksaski

Joseph Rotblat, fizyk, laureat pokojowej Nagrody Nobla

Carl Sagan, dyrektor Laboratorium Badań Planetarnych, Uniwersytet Cornella

Steven Jay Gould, profesor biologii, Uniwersytet Harvarda

Douglas Hofstadter, pisarz, laureat Nagrody Pulitzera, Uniwersytet Indiany
Michael Dertouzos, dyrektor Laboratorium Informatyki w MIT
Paul Davies, pisarz i kosmolog, Uniwersytet Adelajdy
Hans Moravec, Instytut Robotyki, Uniwersytet Carnegie--Mellon
Daniel Crevier, ekspert w dziedzinie sztucznej inteligencji, dyrektor Coreco, Inc.
Jeremy Rifkin, założyciel Fundacji Rozwoju Ekonomii Philip Morrison, profesor fizyki,
MIT
Miguel Virasoro, dyrektor Międzynarodowego Centrum Fizyki Teoretycznej w
Trieście, Włochy
Mark Weiser, Xerox PARC
Lany Tesler, dyrektor naukowy w Apple Computer Paul Ehrlich, przyrodnik,
Uniwersytet Stanforda Paul Saffo, dyrektor Instytutu Przyszłości
Francis Collins, dyrektor Narodowego Centrum Badań nad Genomem Człowieka
(NCHG), Narodowe Instytuty Zdrowia (NIH)
Michael Blaese, Oddział Klinicznej Terapii Genowej (NCHG), NIH
Lawrence Brody, Laboratorium Transferu Genów (NCHG), NIH
Erie Green, Oddział Rozwoju Diagnostyki (NCHG), NIH
Jeffrey Trent, dyrektor Oddziału Badań Wewnętrznych (NCHG), NIH
Paul Meltzer, Laboratorium Genetyki Raka (NCHG), NIH
Leslie Biesecker, Laboratorium Badań nad Chorobami Genetycznymi (NCHG), NIH
Anthony Wynshaw-Boris, Laboratorium Badań nad Chorobami Genetycznymi
(NCHG), NIH
Steven Rosenberg, naczelny chirurg, NIH podpułkownik
Robert Bowman, dyrektor Instytutu Badań nad Bezpieczeństwem w Przestrzeni
Kosmicznej
Paul Hoffman, redaktor naczelny "Discover" Leonard Hayflick, profesor anatomii
Uniwersytetu Kalifornijskiego w San Francisco
Edward Witten, fizyk, Instytut Studiów Zaawansowanych, Princeton
Cumrun Vafa, fizyk, Uniwersytet Harvarda
Paul Townsend, fizyk, Uniwersytet w Cambridge Alan Guth, kosmolog, MIT
Barry Commoner, przyrodnik, Queens College, CUNY
Rodney Brooks, zastępca dyrektora Laboratorium Badań nad Sztuczną Inteligencją,
MIT
Robert Irie, Laboratorium Badan nad Sztuczną Inteligencją, MIT
James McLurkin, Laboratorium Badań nad Sztuczną Inteligencją, MIT
Jay Jaroslav, Laboratorium Badań nad Sztuczną Inteligencją, MIT
Peter Dilworth, Laboratorium Badań nad Sztuczną Inteligencją, MIT
Mikę Wessler, Laboratorium Badań nad Sztuczną Inteligencją, MIT

Neal Gershenfeld, szef Grupy Fizyki i Środków Przekazu, Laboratorium Środków Przekazu MIT

Pattie Maes, Laboratorium Środków Przekazu MIT

David Riquier, Laboratorium Środków Przekazu MIT

Bradley Rhodes, Laboratorium Środków Przekazu MIT

Donna Shirley, Jet Propulsion Laboratory, kierownik Misji Eksploracji Marsa

Frank Von Hippel, fizyk, Uniwersytet w Princeton

John Pike, Stowarzyszenie Uczonych Amerykańskich

Steve Aftergood, Stowarzyszenie Uczonych Amerykańskich

John Horgan, popularyzator nauki, "Scientific American"

Lester Brown, dyrektor i założyciel Instytutu Światowego

Christopher Flavin, Instytut Światowy

Neil Tyson, dyrektor Planetarium Haydena, Amerykańskie Muzeum Historii Naturalnej

Brian Sullivan, kierownik projektu, Planetarium Haydena

Michael Oppenheimer, dyrektor ds. nauki, Fundusz Ochrony Środowiska

Rebecca Goldberg, dyrektor ds. nauki, Fundusz Ochrony Środowiska

Clifford Stoli, analityk komputerowy

John Lewis, wicedyrektor, NASA/Centrum Badawcze Inżynierii Kosmicznej

Uniwersytetu Arizony Richard Muller, profesor fizyki, Uniwersytet Kalifornijski w Berkeley

Larry Krauss, dziekan Wydziału Fizyki, Uniwersytet Case Western Reserve

David Gelertner, profesor informatyki, Uniwersytet Yale

Ted Taylor, twórca bomby atomowej, Los Alamos

David Nahamoo, starszy menedżer, badania nad Językiem, IBM

Paul Shuch, dyrektor Stowarzyszenia SETI

Arthur Caplan, dyrektor Centrum Bioetyki Uniwersytetu Pensylwanii

Yolanda Moses, prezes Amerykańskiego Towarzystwa Antropologicznego oraz rektor City College w Nowym Jorku

Meredith Smali, profesor antropologii Uniwersytetu Cornella

Freeman Dyson, profesor fizyki, Instytut Studiów Zaawansowanych, Princeton

Michael Jacobson, dyrektor Centrum Upowszechniania Nauki

Robert Alvarez, Departament Energii Steve Cook, rzecznik NASA

Karl Grossman, profesor dziennikarstwa, SUNY Old West-bury

Helen Caldicott, pediatra i działacz ruchu na rzecz pokoju Jay Gould, były urzędnik EPA

Arjun Makhijani, prezes Instytutu Energii i Badań nad Środowiskiem

Thomas Cochran, kierownik naukowy, Rada Ochrony Zasobów Naturalnych

Ashok Gupta, starszy analityk, NRDC

David Schwarzbach, współpracownik Projektu Polityki Nuklearnej, NRDC
Richard Gott, kosmolog, Uniwersytet w Princeton
Karl Drlica, profesor biologii i mikrobiologii, Uniwersytet Nowojorski
Wendy McGoodwyn, prezes Rady Odpowiedzialnej Genetyki
Andrew Kimbrell, były dyrektor Fundacji Rozwoju Ekonomii
Jerome Glenn, Projekt Millennium
Jane Rissler, członek zespołu, Stowarzyszenie Zatraskanych Uczonych
Charles Pillar, autor Gene Wars [Wojny genów]
Erie Chivian, Międzynarodowe Stowarzyszenie Lekarzy w Celu Zapobieżenia
Wojnie Jądrowej
Jack Geiger, współzałożyciel Stowarzyszenia Lekarzy dla Odpowiedzialności
Spolecznej
Gordon Thompson, dyrektor Instytutu Badań nad Zasobami i Bezpieczeństwem

Chciałbym również wyrazić wdzięczność tym wszystkim, którzy dodawali mi otuchy podczas pisania tej książki oraz poświęcili swój czas na przeczytanie jej obszernych fragmentów. Są wśród nich: Karl Drlica, Joel Gersten, Mike oraz Iris Anshel i Tadmiri Venkatesh. Szczególnie gorąco pragnąłbym podziękować mojemu agentowi, Stuartowi Krichevsky'emu, który opiekował się już niejedną moją książką popularnonaukową - od chwili narodzin samego pomysłu aż do momentu, gdy docierała ona na półkę w księgarni - oraz redaktorowi z Anchor Books, Rogerowi Schollowi, którego celne uwagi ogromnie przyczyniły się do udoskonalenia tekstu i pomagały mi utrzymać przejrzystość i rozważny ton przesłania.

Michio Kaku Nowy Jork

CZĘŚĆ I

WIZJE

ROZDZIAŁ 1

CHOREOGRAFOWIE MATERII, ŻYCIA I INTELIGENCJI

W nauce XX wieku są trzy wielkie rozdziały - atom, komputer i gen. HAROLD VARMUS, dyrektor Narodowych Instytutów Zdrowia Przewidywanie jest rzeczą trudną, zwłaszcza jeśli dotyczy przyszłości.

YOGI BERRA

Trzy wieki temu Izaak Newton pisał: "[...] wydaje mi się, że jestem małym chłopcem bawiącym się na brzegu morza - cieszę się ze znalezienia gładszego kamyka lub muszli ciekawszej niż inne, podczas gdy przede mną rozciąga się bezkresny ocean nieodkrytych prawd". W czasach kiedy Newton obserwował niezmierny ocean prawdy, prawa Natury spowite były nieprzeniknionym całunem tajemnicy, lęku i przesądów. Nauka, w postaci znanej nam dzisiaj, nie istniała.

Życie w czasach Newtona było krótkie, pełne okrucieństwa i brutalności. Większość ludzi nie potrafiła pisać ani czytać, nie miała w ręku książki i nigdy nie uczyła się w szkole. Z rzadka tylko oddalano się od miejsca zamieszkania na więcej niż kilka kilometrów. Dnie upływały na znoejnej pracy w polu, w bezlitosnych promieniach słońca. Kiedy zapadał zmierzch, udawano się na spoczynek, by o świcie dnia następnego znowu wstać do pracy. Ludzie dobrze znali bolesne uczucie głodu i osłabienia wywoływanego chronicznymi schorzeniami. Tylko nieliczni żyli dłużej niż trzydzieści lat. W przeciętnej rodzinie przychodziło na świat kilkanaścioro dzieci, ale wiele z nich umierało w niemowlęctwie.

I oto tych kilka cudownych muszli i kamyków zebranych przez Newtona i paru innych badaczy na brzegu morza "nieodkrytych prawd" zapoczątkowało lawinę zdumiewających wydarzeń. W społeczności ludzkiej nastąpiła niezwykła i głęboka transformacja. Wraz z mechaniką Newtona pojawiły się maszyny. Skonstruowano maszynę parową - urządzenie, którego siła napędowa przekształciła świat społeczeństwa agrarnego. Powstały fabryki, rozkwitł handel, dokonana się rewolucja przemysłowa, a dzięki rozwojowi sieci dróg żelaznych całe kontynenty stały się dostępne dla każdego.

Wiek XIX to epoka wielkich odkryć naukowych. Niezwykłe osiągnięcia nauki i medycyny przyczyniły się do ograniczenia beznadziejnej nędzy i powszechnej ignorancji, wzbogaciły życie społeczeństw o wiedzę, odkryły przed ludźmi nieznanne światy, a w końcu wyzwoliły złożone siły,

które zmiotły feudalne dynastie i latyfundia i obaliły imperia w Europie.

Pod koniec XX wieku pewna epoka w nauce dobiegła końca: rozwiązano zagadkę atomu, odkryto "cząsteczkę życia" i skonstruowano komputer. Dzięki tym trzem dokonaniom o fundamentalnym znaczeniu (które zapoczątkowały przewrót w fizyce, czyli rewolucję kwantową, a następnie rewolucję w biologii i technikach informatycznych) poznano, w ogólnych przynajmniej zarysach, podstawowe prawa rządzące materią, życiem i informacją.

Epicka, opisowa faza nauki zbliża się więc do kresu. Kończy się pewna epoka i rozpoczyna nowa era.

Książka ta traktuje właśnie o tej rodzącej się na naszych oczach, pełnej dynamiki erze nauki i techniki. Opowieść nasza koncentruje się głównie na nauce, istnieją bowiem przesłanki, by przypuszczać, że w następnych stuleciach rozwinię się ona, ogarniając jeszcze więcej dziedzin niż obecnie.

Nie ulega wątpliwości, że stoimy u progu kolejnego przewrotu.^{1,2} Zasób wiedzy podwaja się co 10 lat. W ostatniej dekadzie zgromadzono więcej wiedzy niż w ciągu całej historii ludzkości. Możliwości komputerów podwajają się co 18 miesięcy, Internetu - co rok. Co dwa lata wzrasta dwukrotnie liczba analizowanych i rozpoznawanych sekwencji DNA. Niemal codziennie słyszymy o nowych osiągnięciach w dziedzinie techniki komputerowej, telekomunikacji, biotechnologii i w badaniach przestrzeni kosmicznej. W konsekwencji tego wstrząsu technicznego upadają pewne gałęzie przemysłu i zanikają dawne modele życia, a w ich miejsce natychmiast pojawiają się nowe. Przy tym owe gwałtowne, oszałamiające zmiany nie są jedynie zmianami ilościowymi. W bólach rodzi się nowa era.

Dzisiaj znowu jesteśmy niczym dzieci bawiące się kamykami na brzegu morza. Lecz ocean, na którego skraju stał niegdyś Newton, zniknął, odpłynął. Przed nami rozciąga się nowy ocean - bezmiar niezwykłych możliwości i zastosowań nauki. Po raz pierwszy w historii otrzymaliśmy moc kierowania Przyrodą i kształtowania jej zgodnie z naszymi życzeniami.

W ciągu niemal całych dziejów ludzkości człowiek był widzem. Mógł jedynie stać z boku i przyglądać się zachwycającemu tańcowi Przyrody. Obecnie znajdujemy się na ostrym wirażu, na styku epok. Wchodzimy w ten zakręt jako bierni obserwatorzy Natury, a wyjdziemy z niego wyposażeni w umiejętność tworzenia choreografii Przyrody. Takie właśnie jest główne przesłanie *Wizji*. Rozpoczynająca się era stanowi jeden z najciekawszych okresów naszej historii. Będziemy mogli zebrać owoce 200 lat rozwoju naukowego. Dobiega końca era odkryć w nauce, zaczyna się era mistrzostwa, epoka umiejętnego wykorzystania osiągnięć naukowych.

Z punktu widzenia uczonych

Co nam przyniesie przyszłość? W książkach fantastyczno-naukowych można znaleźć wiele niedorzecznych przepowiedni na nadchodzące lata, od urlopu na Marsie do zwalczania wszystkich chorób. Także w prasie popularnej nazbyt często pojawiają się dziwaczne opinie na temat

¹ Świadczy o tym chociażby rosnąca objętość czasopism naukowych.

przyszłości. (Na przykład "The New York Times Magazine" w 1996 roku poświęcił cały numer rozważaniom, jak zmieni się życie w ciągu najbliższych stu lat. Opublikowano wypowiedzi dziennikarzy, socjologów, pisarzy, projektantów mody, artystów, filozofów. Znamienne, że o zabranie głosu w dyskusji nie poproszono ani jednego uczonego).

A przecież prognozy formułowane przez współczesnych naukowców są solidniej oparte na rzeczywistej wiedzy niż wyobrażenia humanistów czy nawet przewidywania dawnych uczonych, którzy nie znali jeszcze wszystkich najważniejszych praw natury.

Sądzę, że na tym właśnie polega istotna różnica pomiędzy *Wizjami*, w których wzięto pod uwagę, że można mówić o w miarę zgodnym stanowisku uczonych co do przyszłych wydarzeń, a prezentowanymi w mediach przewidywaniami pisarzy, dziennikarzy, socjologów, autorów książek fantastyczno-naukowych i innych konsumentów techniki, czyli ludzi, którzy nie wpływają na jej kształt ani jej nie tworzą. (Można przytoczyć tu opinię admirała Williama Leahy'ego, który powiedział do prezydenta Trumana w 1945 roku: "To największe głupstwo, jakie zrobiłem w życiu.

[...] Ta bomba [atomowa] nigdy nie wybuchnie, a mówię to jako ekspert od materiałów wybuchowych". Admirał, podobnie jak wielu dzisiejszych futurologów, zawierzył własnym przecuciom, a nie opiniom pracujących nad bombą fizyków).³

Jako człowiek aktywnie zajmujący się fizyką jestem przekonany, że to właśnie fizycy w największym stopniu przyczynili się do nakreślenia horyzontów przyszłych wydarzeń. Zawodowo param się jednym z najbardziej fundamentalnych zagadnień fizyki: marzeniem Einsteina o znalezieniu teorii wszystkiego. Praca nad tym problemem uświadamia mi bez przerwy, jak istotny i wieloraki był wpływ fizyki kwantowej na zasadnicze odkrycia kształtujące obraz XX wieku.

Dotychczasowe osiągnięcia fizyki tworzą imponującą listę: liczne wynalazki (telewizja, radio, radar, tranzystor, komputer, laser, bomba atomowa), poznanie budowy cząsteczki DNA, opracowanie nowych metod diagnostycznych, związane z pojawieniem się PET, MRI i CAT⁴, czy wreszcie powstanie Internetu i WWW. Fizycy bez wątplenia należą do grona jasnowidzów mogących przepowiadać przyszłość (oczywiście, mamy także na swoim koncie wiele absurdalnych przepowiedni!). Niektóre trafne obserwacje czołowych fizyków i ich wnikliwie oceny dały początek zupełnie nowym dziedzinom nauki.

W naszej wizji przyszłości pojawią się zapewne niespodzianki i kłopotliwe luki. Z całą pewnością nie uda mi się przewidzieć wszystkich ważnych wynalazków i odkryć XXI wieku. Mam jednak nadzieję, że uwzględniając wzajemne powiązania między wspomnianymi trzema wielkimi rewolucjami i opierając się na opinii uczonych uczestniczących w tych rewolucjach, zdołam precyzyjnie określić kierunek rozwoju nauki.

W ciągu dziesięciu lat pracy nad tą książką, przygotowując programy radiowe o zasięgu

² Przypisy Autora, oznaczone numerami, znajdują się na końcu książki (przyp. red.).

³ David Wallechinsky: *The People's Almanac Presents the Complete Idiosyncratic Compendium of the Twentieth Century*. Little, Brown, Boston 1995; również magazyn "Parade", 10 września 1995, s. 16.

⁴ Angielskie skróty nazw metod diagnostycznych: PET - *Positron Emission Tomography* (tomografia z użyciem emisji pozytonów), MRI - *Magnetic Resonance Imaging* (obrazowanie za pomocą rezonansu magnetycznego), CAT - *Computer Aided Tomography* (tomografia komputerowa) (przyp. tłum.).

krajowym i zbierając materiały do artykułów popularnonaukowych, miałem zaszczyt rozmawiać z przeszło stu pięćdziesięcioma uczonymi, w tym ze znakomitymi noblistami.

Uczeni ci niestrudzenie torują drogę nauce. To oni tworzą podwaliny XXI wieku. Wielu z nich obiera nowe drogi, wiodące do kolejnych odkryć naukowych. Dzięki tym rozmowom i wywiadom, ale również dzięki mojej własnej pracy badawczej ujrziałem rozległą panoramę nauki. Mogłem również dotrzeć do samych źródeł wiedzy i podziwiać jej głębię. Moi rozmówcy wspaniałomyślnie otworzyli przede mną swoje pracownie i laboratoria, podzielili się ze mną najskrytszymi pomysłami. Teraz ja, w tej właśnie książce, pragnę sprawić, by czytelnik odczuł niezwykłą przyjemność płynącą z obcowania z ożywczą atmosferą odkryć naukowych. Bo jeśli demokracja ma być nadal tą tętniącą życiem siłą, maszyną napędzającą skomplikowaną i technicznie zaawansowaną rzeczywistość naszego świata, to ważną rzeczą jest propagowanie w społeczeństwie, zwłaszcza wśród młodszej generacji, atmosfery romantyzmu i intelektualnego fermentu, które towarzyszą nauce.

Jest faktem, że większość uczonych jest zgodna co do wizji przyszłości. Dzięki znajomości fundamentalnych praw mechaniki kwantowej, najważniejszych zasad informatyki i biologii molekularnej badacze mogą wyobrazić sobie przyszłość nauki.

I to właśnie sprawia, że przewidywania przedstawione w tej książce są, jak sądzę, bardziej wiarygodne niż wcześniejsze prognozy.

A oto obraz, jaki się z nich wyłania.

Trzy filary nauki

Materia. Życie. Umysł.

Na tych trzech filarach wspiera się współczesna nauka. Trzy zasadnicze osiągnięcia, które przyszli historycy uznają zapewne za największe zdobycze dwudziestowiecznej nauki to: rozszczepienie jądra atomowego, odczytanie kodu genetycznego i skonstruowanie komputera. Dysponując wiedzą o podstawach materii i życia, stajemy się świadkami końca jednego z najważniejszych rozdziałów w historii nauki. (Nie oznacza to jednak, że zgłębiliśmy wszystkie prawa obowiązujące w tych trzech głównych dziedzinach wiedzy - udało nam się poznać jedynie najbardziej fundamentalne reguły. Na przykład mimo że podstawowe prawa rządzące komputerami są już dobrze znane, odkryliśmy tylko zarysy podstawowych praw rządzących sztuczną inteligencją i działaniem mózgu).

Pierwszą i najważniejszą rewolucją naukową XX wieku była rewolucja kwantowa. Dwie kolejne rewolucje, molekularna i komputerowa, dokonały się w następstwie zmian, jakie zaszły w fizyce za sprawą mechaniki kwantowej.

Rewolucja kwantowa

Od niepamiętnych czasów ludzie starali się dociec, jak i z czego zbudowany jest świat. Grecy sądzili, że Wszechświat składa się z czterech elementów: wody, powietrza, ziemi i ognia. Grecki

filozof Demokryt twierdził, że elementy te można podzielić na jeszcze mniejsze jednostki, które nazwał atomami. Nikt nie potrafił jednak wyjaśnić, w jaki sposób atomy tworzą ogromną i przedziwną różnorodność materialnych zjawisk Przyrody. Nawet Newton, który odkrył prawa rządzące ruchem planet i księżyców w przestrzeni pozaziemskiej, nie zdołał objaśnić wręcz oszałamiającej złożoności materii.

Przełom nastąpił w 1925 roku wraz z narodzinami mechaniki kwantowej. Następstwem rewolucji kwantowej była fala odkryć naukowych, przybierająca na sile aż do dziś. Przewrót w nauce, jaki dokonał się za sprawą fizyki kwantowej, umożliwił sporządzenie niemal kompletnego opisu materii. Okazało się, że nadzwyczajną złożoność otaczającego nas świata materialnego możemy wyjaśnić za pomocą garstki cząstek elementarnych. To tak, jakbyśmy przypatrywali się wielobarwnemu, wzorzystemu gobelinowi -jeśli przyjrzymy mu się dokładniej, zauważymy, że w tkaninie powtarza się kilka prostych wzorów.

Teoria kwantowa, stworzona przez Erwina Schrödingera, Wernera Heisenberga i wielu innych badaczy, odkryła tajemnicę materii, sprowadzając ją do kilku reguł. Po pierwsze, energia nie jest czymś ciągłym, jak sądzono przedtem, ale występuje w postaci odrębnych (dyskretnych) porcji, zwanych kwantami. (Na przykład foton jest kwantem, porcją światła). Po drugie, cząstki o rozmiarach subatomowych mają jednocześnie cechy cząstek i fal i zachowują się zgodnie ze sławnym równaniem falowym Schrödingera, które określa prawdopodobieństwo pewnego zdarzenia.⁵ Posługując się tym równaniem, możemy za pomocą samych tylko procedur matematycznych przewidzieć własności wielu substancji (bądź cząstek), zanim wytworzymy je w laboratorium. Szczytowym osiągnięciem teorii kwantowej jest Model Standardowy, dzięki któremu możemy przewidywać własności wszystkiego, od znacznie mniejszych od atomu kwarków do potężnych wybuchów supernowych w odległych obszarach kosmosu.

Dwudziestowieczna mechanika kwantowa pozwoliła nam zrozumieć otaczającą nas materię. Nie jest wykluczone, że w nadchodzącym stuleciu otworzą się przed nami niezwykle możliwości: nauczymy się tworzyć oraz kształtować nowe formy materii.

Rewolucja komputerowa

W przeszłości maszyny liczące uważano za ciekawostki matematyczne. Były to ciężkie, niezgrabne urządzenia pełne przekładni, dźwigni i zębatek. W okresie drugiej wojny światowej mechaniczne maszyny liczące zastąpiono urządzeniami wyposażonymi w lampy elektronowe. Nadal jednak były to obiekty monstualnych rozmiarów. Jedno takie urządzenie, w którym znajdowały się tysiące próżniowych lamp elektronowych, zajmowało cały pokój.

Przełom nastąpił w 1948 roku, kiedy badacze z Laboratoriów Bella skonstruowali tranzystor, który stał się podstawą działania współczesnych komputerów. Dziesięć lat później zbudowano

⁵ Według trzeciego postulatu mechaniki kwantowej kwadrat modułu funkcji falowej równania Schrödingera jest miarą prawdopodobieństwa znalezienia cząstki w pewnym punkcie przestrzeni w pewnej chwili czasu. Tak więc determinizm, wynikający z równania Newtona, zgodnie z którym wszystkie zjawiska można opisać z nieskończoną dokładnością, zostaje zastąpiony prawdopodobieństwami i falami. Prowadzi to z kolei do zasady nieoznaczoności Heisenberga, według której nie sposób jednocześnie określić dokładnych wartości położenia i prędkości cząstki.

laser, urządzenie, które ma obecnie kapitalne znaczenie dla funkcjonowania Internetu i sieci informatycznych. Działanie obu tych wynalazków oparte jest na prawach mechaniki kwantowej.

W obrazie kwantowym prąd elektryczny można wyobrazić sobie jako przepływ elektronów, przypominający zlane ze sobą krople wody, które tworzą prąd rzeki. Mechanika kwantowa mówi nam jednak, że (w odróżnieniu od kropeł wody) w prądzie elektrycznym występują "grudki" (elektrony) i "luki". Luki (rozrzedzenia, czyli dziury w gęstości elektronowej) zachowują się tak, jak elektrony o dodatnim ładunku. Właśnie zjawisko przepływu prądu elektronowego i dziurowego pozwala na wzmocnienie słabych sygnałów elektrycznych. Wykorzystuje je współczesna elektronika.

Obecnie dziesiątki milionów tranzystorów można zmieścić na powierzchni wielkości paznokcia. W przyszłości, kiedy mikroprocesory staną się tak powszechne, że "inteligentne" urządzenia dotrą do najdalszych zakątków świata, nasz styl życia ulegnie jeszcze większym zmianom.

Jak dotąd cudowne zjawisko, zwane inteligencją, mogło nas jedynie wprawiać w podziw; w przyszłości będziemy potrafili nim manipulować zgodnie z naszymi życzeniami.

Rewolucja biomolekularna

Teoria witalizmu, mówiąca o istnieniu zagadkowej "siły życia", czyli jakiejś substancji kierującej organizmami żywymi, wywarła w przeszłości przemożny wpływ na sposób myślenia wielu biologów. Teorię tę zakwestionował Schrodinger w wydanej w 1944 roku książce pt. *Czym jest życie?* Schrödinger odważył się oznajmić, że zjawisko życia można wyjaśnić obecnością materiału genetycznego, zawartego w cząsteczkach tworzących komórkę. Była to nadzwyczaj śmiała idea: wytłumaczyć tajemnicę życia za pomocą mechaniki kwantowej.

Słuszności tej idei dowiedli ostatecznie James Watson i Francis Crick. Uчени ci, zainspirowani książką Schrodingera, dokonali analizy obrazów otrzymanych w wyniku doświadczeń, podczas których wykorzystano promieniowanie rentgenowskie rozproszone przez cząsteczki DNA. Zrekonstruowali w ten sposób strukturę atomową cząsteczki DNA i odkryli, że ma ona kształt podwójnej helisy. Ponieważ mechanika kwantowa dostarcza nam również informacji o kątach między wiązaniami chemicznymi oraz o siłach działających pomiędzy atomami, możemy w zasadzie ustalić położenie wszystkich elementów cząsteczek, przenoszących informację genetyczną nawet w tak skomplikowanym tworze, jak wirus HIV.

Dzięki metodom biologii molekularnej będziemy mogli odcyfrowywać przekaz genetyczny tak, jakbyśmy czytali książkę. Już teraz uczonym udało się rozszyfrować informację genetyczną kilku organizmów: pewnych wirusów, bakterii i drożdży.

Ludzki genom zostanie rozszyfrowany w całości przed 2005 rokiem. Odkrycie to pozwoli nam poznać "instrukcję obsługi" istoty ludzkiej, co wpłynie zasadniczo na naukę i medycynę XXI wieku. Zamiast -jak dziś - biernie przyglądać się barwnemu korowodowi procesów życiowych, przesuwanemu przed naszymi oczami, będziemy mogli, niczym bogowie, sterować życiem zgodnie z naszą wolą.

Od biernych widzów do choreografów Przyrody

Śledząc dzieje postępu naukowego w dobiegającym końcu wieku, niektórzy komentatorzy dochodzą do wniosku, że nauka zaczyna z wolna docierać do kresu swoich możliwości. John Horgan⁶ wypowiada w swojej książce *Koniec nauki* następującą opinię: "Jeśli ktoś ufa nauce, musi zaakceptować możliwość, a nawet skończone prawdopodobieństwo tego, że era wielkich odkryć naukowych dobiegła końca. [...] Dalsze badania nie przyniosą wielkich rewelacji ani przewrotów, co najwyżej coraz wolniejszy przyrost pożytków płynących ze zgromadzonej wiedzy".

W pewnym sensie Horgan ma rację. Bez wątplenia współczesna nauka dotarła do fundamentalnych praw leżących u podstaw wielu dyscyplin: kwantowej teorii materii, Einsteińskiej teorii czasoprzestrzeni, kosmologicznej teorii Wielkiego Wybuchu, Darwinowskiej teorii ewolucji oraz teorii dotyczącej molekularnych podstaw DNA i życia w ogólności. Większość wielkich zagadek nauki została już w zasadzie rozwiązana (do wyjątków należą takie zagadnienia, jak określenie, czym jest świadomość, oraz udowodnienie, że teoria super-strun - główny przedmiot moich zainteresowań - jest tożsama ze sławną zunifikowaną teorią pola).

Era redukcjonizmu, czyli wyjaśniania wszelkich zjawisk na podstawie analizy najmniejszych składników, dobiega końca. Wydaje się, że redukcjonizm, który ma na swoim koncie wiele spektakularnych osiągnięć, takich jak poznanie tajemnicy atomu, odkrycie cząsteczki DNA i skonstruowanie obwodów scalonych komputera, stał się już anachronizmem.

Jednakże to dopiero początek naszej przygody z nauką. Wspomniane odkrycia to kamienie milowe znaczące czas przełomu, oderwania się od przeszłości, w której Przyrodę postrzegano przez pryzmat animizmu, mistycyzmu i spirytualizmu. Dzięki nim otworzyły się widoki na zupełnie nową erę nauki.

Następny wiek przyniesie rewolucję znacznie bardziej brzemiennej w skutki: zakończy się okres odsłaniania tajemnic Natury, a rozpocznie epoka władania Przyrodą.

Różnicę pomiędzy znajomością reguł a umiejętnością wykorzystania zdobytej wiedzy ukazał Sheldon Glashow, laureat Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki, w swojej opowieści o losach Artura, przybysza z obcej planety, który po raz pierwszy spotyka Ziemiaków: "Artur, obdarzony inteligencją przybysz z odległej planety, pojawia się na Washington Square [w Nowym Jorku] i obserwuje, jak dwóch starszuchów gra w szachy. Artur stawia sobie dwa ambitne zadania: poznać reguły gry i zostać arcymistrzem". Uważnie obserwując ruchy graczy, stopniowo odkrywa reguły gry. Dowiaduje się, jak mogą posuwać się pionki, w jaki sposób królowa może wziąć do niewoli skoczek i jak inne figury mogą bronić króla. Jednakże znajomość samych reguł nie wystarcza do zostania arcymistrzem! "Oba zadania - pisze Glashow - są równie ważne. Jedno jest bardziej "znaczące«, drugie - raczej »fundamentalne«. Oba stanowią ogromne wyzwanie dla ludzkiego intelektu".⁷

W pewnym sensie nauka doszła już do etapu, w którym podstawowe prawa Natury zostały

⁶ John Horgan: *The End of Science*. John Wiley, Nowy Jork 1996, s. 6, wywiad. Wyd. polskie: *Koniec nauki* Prószyński i S-ka, Warszawa 1998.

rozszyfrowane. Nie oznacza to jednak, że staliśmy się już arcymistrzami. Owszem, poznaliśmy szalony taniec cząstek elementarnych we wnętrzach gwiazd oraz rytm, w jakim helisy DNA rozwijają się i ponownie skręcają w naszych ciałach. Ale nie staliśmy się jeszcze wytrawnymi choreografami materii i życia.

Tak więc koniec XX wieku jest jednocześnie końcem pierwszej wielkiej epoki w historii nauki i początkiem nowej ekscytującej ery. Z szachistów-amatorów mamy stać się arcymistrzami, z obserwatorów - wielkimi reżyserami Przyrody.

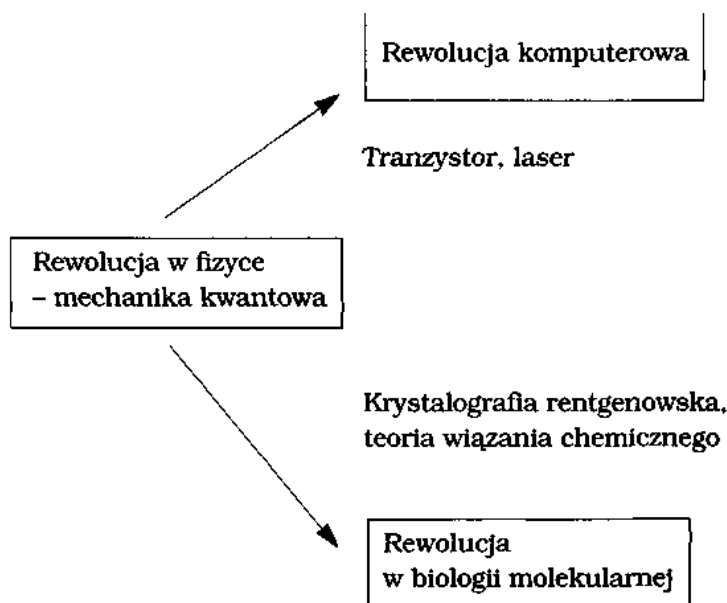
Od redukcjonizmu do synergii

Wszystko to oznacza zupełnie nowe podejście do nauki. Redukcjonizm poprzedniego okresu zaowocował sformułowaniem podstaw nowoczesnej fizyki, chemii i biologii.

Najważniejszym dokonaniem tej epoki było odkrycie mechaniki kwantowej, którego następstwem stały się dwie kolejne rewolucje.

Rewolucja komputerowa i rewolucja biomolekulama dokonały się w latach pięćdziesiątych. Od tego czasu obie te dziedziny okrzepły i dojrzały, stając się w dużym stopniu niezależne i od fizyki, i od siebie nawzajem. Badacze wnikali coraz głębiej w swoje wąskie dziedziny wiedzy, ignorując osiągnięcia na innych polach. W nauce zaczęła królować specjalizacja. Okres dominacji redukcjonizmu mamy już jednak prawdopodobnie za sobą. Pojawiły się nieprzezwyciężone trudności, których nie sposób pokonać za pomocą ograniczonego, redukcjonistycznego podejścia. Nadchodzi nowa era, epoka synergii, współdziałania trzech wielkich nurtów ludzkiej aktywności.

I to jest drugi zasadniczy temat tej książki.



Rewolucja kwantowa, której następstwem było wynalezienie tranzystora, lasera oraz rozwój krystalografii i opracowanie teorii wiązania chemicznego, dała początek rewolucjom w technikach obliczeniowych i biologii molekularnej.

W przeciwieństwie do poprzednich okresów, XXI wiek odznaczać się będzie współdziałaniem

⁷ Sheldon Glashow, Leon Lederman: The SSC: A Machine for the Ni-neties, "Physics Today", marzec 1985, s. 332.

tych właśnie *dziedzin* wiedzy i umacnianiem łączących je więzów. Będzie to kolejny punkt zwrotny w dziejach nauki. Dzięki wzajemnemu wpływowi tych trzech wielkich nurtów rozwój nauki ulegnie przyspieszeniu, a ludzie posiadą bezprecedensową umiejętność kierowania materią, życiem i inteligencją.

W przyszłości żaden uczony nie będzie mógł obejść się bez pewnego zasobu wiadomości z tych trzech dziedzin. Już teraz ci spośród badaczy, którzy nie w pełni rozumieją sens trzech wielkich rewolucji, mają mniejsze szanse na zwycięstwo w naukowej rywalizacji.

Wzajemne zależności pomiędzy trzema wspomnianymi gałęziami wiedzy mają charakter zdecydowanie dynamiczny. Często się zdarza, że kiedy w jednej dziedzinie pojawia się impas, zupełnie nieoczekiwane osiągnięcie na innym polu przynosi rozwiązanie problemu. Biolodzy, na przykład, załamywali ręce nad niemożnością odcyfrowania milionów genów, w których zapisany jest plan życia. To, że obecnie w laboratoriach rozszyfrowuje się coraz więcej genów, zawdzięczamy rozwojowi innej techniki: wykładniczemu wzrostowi mocy obliczeniowej komputerów, których wykorzystanie niebywale przyspiesza zautomatyzowany proces sekwencjonowania genów. Wkrótce jednak krzemowe chipy okażą się zbyt ociężałe dla komputerów przyszłości. Dzięki postępowi w badaniach nad DNA możliwe stało się stworzenie nowego typu komputerów, w których obliczenia dokonywane są na poziomie cząsteczek organicznych. Odkrycia w jednej dziedzinie stymulują więc rozwój innych gałęzi nauki. Całość to więcej niż tylko suma części.

Jedną z konsekwencji tego intensywnego współdziałania jest stale rosnące tempo badań naukowych.

Bogactwo narodów

Naukowe i technologiczne przyspieszenie wywrze ogromny wpływ na zasobność narodów i standard naszego życia w następnym wieku. Przez ostatnie trzy stulecia bogactwo gromadzono w państwach, które dysponowały zasobami naturalnymi lub które potrafiły skumulować potężne kapitały. Rozwój wielkich potęg przemysłowych Europy w XIX wieku i wzrost gospodarczy Stanów Zjednoczonych w wieku XX to podręcznikowe przykłady takiej sytuacji.

Lester C. Thurow, były dziekan Szkoły Biznesu im. Sloana w MIT, twierdzi, że w nadchodzącym wieku dojdzie do wiekopomnego przesunięcia bogactwa poza kraje dysponujące wieloma zasobami naturalnymi i potężnym kapitałem. Tak jak ruchy tektoniczne płyt kontynentalnych są przyczyną potężnych trzęsień ziemi, tak "sejsmiczne" przesunięcie bogactwa stanie się przyczyną zmiany układu sił na naszym globie. Thurow pisze: "W XXI wieku siła wyobraźni i zdolności umysłowe, inicjatywa i umiejętność tworzenia nowych technologii okażą się czynnikami o zasadniczym znaczeniu".⁸ W przyszłości rynek zaleją tanie artykuły codziennego użytku, pojawi się globalizacja rynku pracy, a poszczególne gospodarki połączą się w sieci elektronicznej w jedną całość, i tym samym zmniejszy się znaczenie krajów o bogatych zasobach naturalnych. Ten trend

⁸ Lester C. Thurow: *The Future of Capitalism*. William Morrow, Nowy Jork 1996, s. 279.

widoczny jest już obecnie. W latach 1970-1990 ceny wielu surowców naturalnych spadły o mniej więcej 60%, a według Thurowa obniżą się o dalsze 60% do 2020 roku.⁹

Rola kapitału również ulegnie zmianie. Stanie się on zwykłym towarem dostępnym w elektronicznym obiegu dóbr, mającym zasięg globalny. Kraje pozbawione bogactw naturalnych mogą rozkwitnąć w XXI wieku dzięki rozwijaniu takich technologii, które zapewnią im miejsce w czołówce światowej gospodarki. Thurow zapewnia: "Do uzyskania przewagi we współzawodnictwie wystarczają obecnie wiedza i umiejętności".¹⁰

Niektóre kraje sporządziły już listę priorytetowych technologii, które mają zapewnić im zasobność w nadchodzącym wieku. Typowa lista tego rodzaju została opracowana w 1990 roku przez japońskie Ministerstwo Handlu i Przemysłu. Znalazły się na niej:

- mikroelektronika,
- biotechnologia,
- przemysł nowych materiałów,
- telekomunikacja,
- produkcja samolotów pasażerskich,
- narzędzia mechaniczne i roboty,
- komputery (urządzenia i oprogramowanie).¹¹ Wszystkie te technologie zawdzięczają swój

rozwój rewolucji,

która dokonała się w dziedzinie kwantów, komputerów i DNA. Jest rzeczą godną uwagi, że trzy wielkie rewolucje dotyczą nie tylko samej nauki, lecz stanowią siłę napędową rozwoju gospodarczego. Od umiejętności korzystania z osiągnięć tych rewolucji zależą losy narodów. Każda dziedzina aktywności ma swoich wygranych i przegranych. Wygrają te państwa i narody, które docenią wagę naukowego przełomu. Ci zaś, którzy odniosą się do niego z lekceważeniem, znajdą się zapewne na obrzeżach globalnej gospodarki XXI wieku.

Czasowe horyzonty przepowiedni

Poszczególne technologie będą osiągać dojrzałość w różnym tempie. Dlatego ważną rzeczą jest nakreślenie czasowych horyzontów ich rozwoju. Przyszłe wynalazki i nowe technologie zostały podzielone w *Wizjach* na trzy kategorie: te, które pojawią się przed 2020 rokiem; te, które ujrzą światło dzienne w latach 2020-2050, oraz te, które staną się faktem gdzieś pomiędzy rokiem 2050 a końcem XXI wieku. (Oczywiście, nie są to sztywne ramy czasowe - podział ten ma charakter czysto orientacyjny).

Przed rokiem 2020

Uczni spodziewają się, że przed 2020 rokiem dojdzie do nagłego rozwoju w badaniach naukowych na niespotykaną dotychczas skalę. Zapierające dech w piersiach odkrycia, dzięki

⁹ *Ibidem*, s. 67.

¹⁰ *Ibidem*, s. 68.

którym zwiększy się moc obliczeniowa komputerów i wzrosną możliwości oznaczania sekwencji DNA, doprowadzą do upadku starych gałęzi przemysłu i rozkwitu nowych. Od lat pięćdziesiątych zdolności obliczeniowe komputerów wzrosły około 10 miliardów razy. Ponieważ moc komputerów i możliwości sekwencjonowania DNA podwajają się mniej więcej co dwa lata, można określić w przybliżeniu ramy czasowe wielu osiągnięć naukowych i opracować dość dokładne prognozy dotyczące rozwoju informatyki i biotechnologii do 2020 roku.

Tempo rozwoju komputerów określa ilościowo prawo Moore'a, które mówi, że ich moc obliczeniowa podwaja się mniej więcej co 18 miesięcy. (Po raz pierwszy zostało to stwierdzone w 1965 roku przez Gordona Moore'a, jednego z założycieli firmy Intel. Nie jest to prawo naukowe, takie jak prawa Newtona, lecz praktyczna reguła, która zadziwiająco poprawnie opisuje rozwój komputerów na przestrzeni dziesięcioleci). Prawo Moore'a pozwala przewidywać los firm komputerowych o obrotach i zyskach rzędu miliardów dolarów, firm, w których planowanie i budowa linii produkcyjnych opierają się na założeniu ciągłego wzrostu. Do 2020 roku mikroprocesory staną się zapewne ogólnie dostępne i tanie jak makulatura, a "inteligentne" układy rozpowszechnią się na całym świecie. Nasze otoczenie zupełnie się odmieni. Inna będzie struktura handlu, wzrośnie dobrobyt, radykalnym zmianom ulegną sposoby komunikowania się, pracy, rozrywki i życia. Będziemy mieli wspaniałe mieszkania, samochody, telewizory, szykowne ubrania, biżuterię i dużo pieniędzy. Będziemy mogli mówić do różnych urządzeń, a one będą nam odpowiadały. Uczni spodziewają się, że Internet, dzięki połączeniu milionów lokalnych sieci komputerowych, oplecie całą Ziemię - powstanie w ten sposób "inteligentna planeta". Internet stanie się tym bajkowym czarodziejskim zwierciadłem, które przemówi całą mądrością ludzkiej rasy.

Obserwując iście rewolucyjny postęp w możliwościach wytrawiania coraz to mniejszych tranzystorów na płytkach krzemowych, uczeni doszli do wniosku, że tendencja do wytwarzania lepszych i szybszych komputerów będzie trwała mniej więcej do 2020 roku. Wtedy znowu dadzą o sobie znać ograniczenia wynikające z praw mechaniki kwantowej. Nadejdzie czas, kiedy rozmiary elementów mikroprocesorów staną się tak małe - porównywalne z rozmiarami cząsteczek chemicznych - że zaczną dominować efekty kwantowe. Słynna era krzemowa dobiegnie końca.

W najbliższych dwudziestu latach dojdzie do równie efektownego postępu w biotechnologii. Dzięki wykorzystaniu w badaniach molekularnych komputerów i robotów zautomatyzowane zostały procedury sekwencjonowania DNA i wzrosły możliwości rozszyfrowania tajemnicy życia. Około 2020 roku będziemy już znali kod DNA tysięcy żywych organizmów. Być może każdy mieszkaniec Ziemi otrzyma swoją osobistą informację genetyczną zapisaną na dysku CD. Powstanie "encyklopedia życia".

Wydarzenia te będą miały przełomowe znaczenie dla biologii i medycyny. Opracowane zostaną skuteczne metody leczenia chorób genetycznych - lekarze będą wstrzykiwać do ludzkich komórek preparat z poprawioną informacją genetyczną. A ponieważ przyczyną raka są, jak wiadomo,

¹¹ *Ibidem* s. 67.

mutacje genetyczne, wiele rodzajów nowotworów będzie można wyleczyć, i to bez żadnych inwazyjnych zabiegów, operacji czy chemioterapii. Wiele mikroorganizmów wywołujących choroby zakaźne zostanie zwalczonych dzięki istnieniu rzeczywistości wirtualnej. Możliwe stanie się odnajdywanie słabych punktów w otoczkach mikrobów i wytwarzanie środków, które zniszczą drobnoustroje, atakując ich czułe miejsca. Dzięki naszej wiedzy o procesach komórkowych będziemy mogli hodować w laboratoriach całe narządy, także wątrobę i nerki.

Pomiędzy 2020 a 2050

Prognozy dotyczące wzrostu mocy obliczeniowej komputerów i możliwości odczytywania DNA są jednak nieco zwodnicze, gdyż w obu tych przypadkach rozważamy technologie znane obecnie. Moc obliczeniowa komputerów ustawicznie zwiększa się dzięki coraz gęstszemu upakowaniu tranzystorów na krzemowych płytkach mikroprocesorów, a komputeryzacja wspomaga sekwencjonowanie DNA. W oczywisty sposób obie te technologie nie mogą bez końca rozwijać się wykładniczo. Wcześniej czy później pojawi się wąskie gardło.

Okolo roku 2020 wyłonią się pierwsze zasadnicze trudności. Ze względu na ograniczenia techniki mikroprocesorowej będziemy musieli opracować nowe technologie, których możliwości nie potrafimy jeszcze dokładnie określić: powstaną komputery optyczne, molekularne i oparte na DNA oraz komputery kwantowe. Musimy znaleźć nowe, radykalne rozwiązania, wynikające z teorii kwantowej, które najprawdopodobniej wywołają wielkie zamieszanie w informatyce. Skończy się panowanie mikroprocesora. Pojawią się nowe rodzaje chipów kwantowych.

Jeśli uda się pokonać trudności w technice komputerowej, w latach 2020-2050 na rynek trafią produkty zupełnie nowej technologii: prawdziwi "automatonowie", roboty obdarzone rozsądkiem, rozumiejące ludzką mowę, umiejące rozpoznawać przedmioty i posługiwać się nimi, potrafiące uczyć się na własnych błędach. W tym stadium rozwoju nasz stosunek do maszyn całkowicie się zmieni.

Także biotechnologia stanie okolo 2020 roku w obliczu nowych problemów. Nauka ta zacznie tonąć w powodzi odczytanych genów, których funkcje w większości pozostaną nierozpoznane. Jeszcze przed rokiem 2020 punkt ciężkości przesunie się z problemów sekwencjonowania DNA na zagadnienia związane z określaniem podstawowych funkcji poznanych już genów (proces badawczy, którego nie da się skomputeryzować) oraz rozpoznawaniem chorób i cech o poligenowym podłożu, czyli będących rezultatem złożonych interakcji wielu genów. Skupienie uwagi na patologjach wielogenowych może okazać się zasadniczym zwrotem w rozwiązaniu wielu problemów ludzkości trapionej chronicznymi schorzeniami: chorobą wieńcową, reumatoidalnym zapaleniem stawów i innymi chorobami o podłożu autoimmunologicznym, schizofrenią itp. Może to doprowadzić do klonowania ludzi i wyizolowania słynnych genów starości, które kontrolują procesy starzenia się. Nie jest zatem wykluczony wzrost długości życia.

Po roku 2020 w laboratoriach fizyków mogą narodzić się kolejne zdumiewające technologie - poczynając od nowych generacji laserów i holograficznej trójwymiarowej telewizji, a kończąc na

reakcji termojądrowej. Szerokie zastosowanie znajdą zapewne nadprzewodniki wysokotemperaturowe, które zapoczątkują drugą rewolucję przemysłową. Mechanika kwantowa pozwoli nam konstruować urządzenia wielkości cząsteczek, dzięki czemu pojawi się zupełnie nowa klasa narzędzi, mająca własności, o których nikomu się jeszcze nie śniło (nanotechnologia). Będzie można budować silniki jonowe i rozpocznie się era powszechnych lotów międzyplanetarnych.

Od 2050 do 2100 i później

Ostatnia część naszych rozważań będzie dotyczyła okresu pomiędzy rokiem 2050 a końcem XXII wieku. Chociaż wszelkie przewidywania sięgające tak daleko w przyszłość są z konieczności mgliste, wydaje się, że okres ten zostanie zdominowany przez kilka nowych osiągnięć. Niewykluczone, że roboty osiągną pewien stopień samoświadomości - zaczną zdawać sobie sprawę z własnego istnienia. Może to w znacznej mierze przyczynić się do wzrostu ich użyteczności w społeczeństwie; będą mogły podejmować samodzielne decyzje, pracować jako sekretarki, lokaje, asystenci i pomocnicy. Badania nad DNA osiągną taki poziom, że genetycy będą w stanie tworzyć nowe rodzaje organizmów, stosując transfer nie tylko kilku, lecz setek genów, dzięki czemu zwiększą się zasoby żywności, wynalezione zostaną nowe, doskonalsze lekarstwa i w związku z tym poprawi się nasz stan zdrowia. Nauczmy się projektować nowe formy życia i zmieniać fizyczne, a może nawet psychiczne cechy naszych dzieci. Zrodzi się więc wiele nowych pytań i problemów natury etycznej.

Również teoria kwantowa wywrze ogromny wpływ na oblicze następnego wieku. Do najistotniejszych zmian dojdzie w dziedzinie wytwarzania energii. Powstaną rakiety, które zanoszą ludzi do najbliższych gwiazd. Zaczniemy też myśleć o stworzeniu kolonii w przestrzeni międzyplanetarnej.

Niektórzy uczeni sądzą, że w XXII wieku będzie następowało dalsze stapianie się trzech wielkich rewolucji. Mechanika kwantowa, dostarczając podstaw do budowania obwodów oraz całych urządzeń wielkości cząsteczek, umożliwi stworzenie w komputerze kopii struktur neuronowych mózgu. Część uczonych uważa, że w przyszłości będziemy mogli wydłużać nasze życie dzięki wytwarzaniu nowych narządów, a nawet całych organizmów, manipulowaniu pulą ludzkich genów, czy wręcz stapianiu się w jedno z wykreowanymi przez nas skomputeryzowanymi tworamami.

W drodze ku cywilizacji planetarnej

W epoce gwałtownego rozwoju naukowego i technicznego zaczęły podnosić się głosy ostrzegające, że wszystko to idzie zbyt daleko, dzieje się za szybko i może mieć nieprzewidziane konsekwencje społeczne.

Mając na uwadze te całkowicie uzasadnione zastrzeżenia i obawy, spróbuję wniknąć w delikatną materię społecznych implikacji rewolucji naukowych, które mogą spotęgować istniejące już patologie społeczne.

Spróbujemy ponadto odpowiedzieć na najważniejsze pytanie: dokąd zmierzamy? Jeśli kończy

się jedna epoka, a zaczyna druga, dokąd zaprowadzi nas ta zmiana?

To właśnie pytanie stawiają sobie astrofizycy, szukający w przestrzeni kosmicznej znaków istnienia cywilizacji pozaziemskich, które mogłyby okazać się znacznie bardziej zaawansowane niż nasza. W Galaktyce jest około 200 miliardów gwiazd, a we Wszechświecie - biliony innych galaktyk. Zamiast wyrzucać miliony dolarów na bezładne przeszukiwanie wszystkich systemów gwiazdowych w kosmosie, astrofizycy próbują stworzyć teoretyczny model, który pozwoliłby im określić, w jaki sposób inne cywilizacje, wieki lub tysiąclecia starsze od naszej, wykorzystują energię i kształtują swoje otoczenie.

Wpatrzni w niebo astronomowie, posługując się prawami termodynamiki oraz regułami rządzącymi energią, podzielili cywilizacje pozaziemskie na trzy kategorie, rozróżniane według sposobu użytkowania energii. Rosyjski astronom Mikołaj Kardaszew i fizyk z Princeton, Freeman Dyson, oznaczyli je jako cywilizacje typu I, II i III.¹²

Jeśli założymy, że co roku następuje pewien, nawet nieznaczący, wzrost zużycia energii, będziemy mogli przewidywać przyszłość całych cywilizacji. Wyczerpanie się jakiegoś źródła energii zmusza daną społeczność do wzniesienia się na następny poziom rozwoju.

Cywilizacja typu I opanowuje wszelkie formy energii na zamieszkanym przez siebie globie. Potrafi wpływać na pogodę, eksploatować oceany i wydobywać energię z wnętrza planety. Jej potrzeby są tak wielkie, że musi wykorzystywać wszystkie dostępne zasoby energetyczne. Zarządzanie energią na tak gigantyczną skalę wymaga ścisłej współpracy między jednostkami oraz sprawnego działania ogólnosiwiatowego systemu komunikacji. To oczywiście oznacza, że mieszkańcy takiej planety stworzyli już cywilizację globalną, w której nie ma miejsca na konflikty o podłożu politycznym, religijnym czy etnicznym.

Cywilizacja typu II jest zdolna opanować energię zawartą we wnętrzach gwiazd. Ma tak ogromne potrzeby energetyczne, że wyczerpała już zasoby swojej planety i do napędzania budowanych przez siebie urządzeń musi wykorzystywać energię świecącego nad nią słońca. Dyson sugerował, że cywilizacja typu II, budując olbrzymią sferę otaczającą gwiazdę centralną, mogłaby spożytkować całą produkowaną przez nią energię. Na tym etapie rozwoju rozpoczyna się również eksploracja i kolonizacja sąsiednich systemów planetarnych.

Cywilizacja typu III wyczerpała już zasoby energetyczne swojego słońca. Musi skierować się teraz ku sąsiednim gwiazdom i gromadom gwiazd, przekształcając się z wolna w cywilizację galaktyczną. Wędrując poprzez galaktykę, zdobywa niezbędną energię. Wykorzystuje w tym celu zasoby kolejnych układów gwiazdowych.

(Zjednoczona Federacja Planet z serialu *Star Trek* jest prawdopodobnie przykładem wczesnego stadium cywilizacji typu II. Opanowała właśnie technologię umożliwiającą zapłon gwiazd i skolonizowała kilka pobliskich systemów planetarnych).¹³

¹² Freeman Dyson: *Disturbing the Unverse*. Harper & Row, Nowy Jork 1979, s. 212.

¹³ W serialu pojawia się jedna prawdziwie galaktyczna cywilizacja Borgów, którą prawdopodobnie można zaliczyć do cywilizacji trzeciego rodzaju. Obawiają się jej zatem wszelkie cywilizacje typu drugiego. Jest również tajemnicza, niemal boska rasa superistot, zwanych Q, które potrafią dowolnie manipulować przestrzenią, czasem, materią i energią. Ta mityczna rasa to cywilizacja zupełnie nowego rodzaju, być może typu IV.

Przedstawiony powyżej podział, oparty na klasyfikacji dostępnych zasobów energetycznych, wydaje się zupełnie rozsądny. Każda zaawansowana cywilizacja istniejąca gdzieś w przestrzeni kosmicznej dysponuje tylko trzema źródłami energii: swoją planetą, swoją gwiazdą i swoją galaktyką. Innych możliwości nie ma.

Zakładając, że zużycie energii będzie wzrastać w umiarkowanym tempie około 3% rocznie - a takie tempo wzrostu jest typowe dla Ziemi - można obliczyć, kiedy nasza planeta osiągnie wyższy poziom rozwoju. Astrofizycy oceniają na przykład, że każda następna cywilizacja będzie zużywać 10 miliardów razy więcej energii niż jej poprzedniczka. Chociaż na pierwszy rzut oka liczba ta wydaje się ogromna, stały, trzyprocentowy wzrost zużycia energii może rzeczywiście doprowadzić do osiągnięcia tego poziomu. Powinniśmy się spodziewać uzyskania statusu cywilizacji typu I w ciągu jednego lub dwóch wieków. Cywilizacją typu II staniemy się za mniej więcej 800 lat. Lecz stworzenie cywilizacji typu III może nam zająć 10 tysięcy lat lub więcej (w zależności od tego, kiedy rozpocznie się era podróży międzygwiazdnych). W porównaniu z wiekiem Wszechświata wszystko to wydaje się jednak tylko mgnieniem oka.

Możesz, Czytelniku, zapytać: a gdzie znajdujemy się teraz? Obecnie jesteśmy cywilizacją typu zerowego. Nasze maszyny napędzamy szczątkami obumarłych roślin (węglem i ropą naftową). Jesteśmy jak dzieci stawiające pierwsze, niepewne kroki. Lecz przed końcem XXI wieku potęga trzech rewolucji naukowych zmusi narody Ziemi do współdziałania na niespotykaną dotychczas skalę. Zanim upłynie XXII wiek, stworzymy podstawy cywilizacji typu I i ludzkość podejmie pierwsze próby dotarcia do najbliższych gwiazd.

Dzięki rewolucji w informatyce powstała już sieć połączeń globalnych, które zaczynają zastępować dotychczasowe powiązania o charakterze lokalnym. Tak jak wynalazek Gutenberga poszerzył naszą wiedzę o odległych częściach świata, tak rewolucja informatyczna buduje z tysięcy lokalnych subkultur jedną, wspólną kulturę globalną.

Wszystko to oznacza, że podróżując przez krainę nauki i techniki, dotrzemy w końcu do etapu, w którym przekształcimy się w prawdziwą cywilizację typu I - cywilizację planetarną, która gospodarzy wszystkimi siłami swojej planety. Marsz ku cywilizacji planetarnej będzie powolny, nierówny, pełen nieoczekiwanych wzlotów i upadków. W tle ciągle czai się niebezpieczeństwo wybuchu wojny jądrowej, zabójczej pandemii oraz degeneracji środowiska. Sądzę jednak, że potencjał tkwiący w nauce wystarczy, by skierować nas na drogę, która powiedzie rodzaj ludzki ku cywilizacji typu I.

Nauka wcale nie zmierza ku końcowi. Siły wyzwolone przez trzy wielkie rewolucje naukowe powinny nas ostatecznie wynieść do poziomu cywilizacji pierwszego typu. Kiedy Newton samotnie spoglądał na bezbrzeżny, nieznany ocean wiedzy, nie mógł przypuszczać, że zapoczątkowana przez niego i innych łańcuchowa reakcja wydarzeń odmieni pewnego dnia ludzkie społeczeństwo i przekształci je w cywilizację planetarną, która odnajdzie drogę do gwiazd.

CZĘŚĆ II

REWOLUCJA KOMPUTEROWA

ROZDZIAŁ 2

NIEWIDZIALNY KOMPUTER

W przyszłości komputery osobiste i stacje robocze przestaną istnieć, ponieważ komputery będą wszędzie: na ścianach, na nadgarstku ręki i na biurku pod postacią komputerów-brudnopisów, po które będzie można sięgnąć w dowolnej chwili.

MARK WEISER, Xerox PARC

Xerox PARC (Centrum Badawcze firmy Xerox w Palo Alto) leży pomiędzy spokojnymi, łagodnie opadającymi ku Dolinie Krzemowej wzgórzami, wśród złocistych pól rozciągających się pod przejrzystym niebem. Patrząc na pasące się nieopodal stadko koni spokojnie skubiących trawę, trudno byłoby się domyślić, że Xerox PARC to niemal oko cyklonu, którego nadejście ma odmienić oblicze XXI wieku. Jeśli ktoś ma jakiegokolwiek wątpliwości co do znaczenia Xeroxa i jego wpływu na technikę komputerową, powinien zapoznać się z historią tej firmy.

Na zewnątrz, przy głównym wejściu, nie ma żadnego napisu, żadnej tablicy, która informowałaby o historycznej roli, jaką odegrało to laboratorium. Jednakże ludzie z Xerox PARC mają pełne prawo twierdzić: "To tutaj właśnie został wynaleziony komputer". Tutaj też stworzono projekt drukarki laserowej oraz program, który jest pierwowzorem okienkowych systemów operacyjnych Macintosha i Windows.

Xerox to najpotężniejsze spośród wszystkich przedsiębiorstw działających w Dolinie Krzemowej. Jeśli zalewa nas, biorąca początek w Dolinie Krzemowej, fala nowych produktów i gadżetów z gatunku *high-techu* to zawdzięczamy to właśnie Xeroxowi, firmie, w której zaprojektowano te wynalazki.

Mark Weiser, były szef Laboratorium Nauk Komputerowych w Xeroxie, oraz inżynierowie pracujący w kierowanym przez niego zespole to ludzie, którzy wybiegają myślami w przyszłość. Należą oni do elitarnego kręgu informatyków działających w Dolinie Krzemowej i w Cambridge, w kręgu, który tworzą ludzie obdarzeni rzadkim talentem łączenia najwyższych umiejętności technicznych z artystyczną, kreatywną wirtuozerią. Weiser, niewysoki mężczyzna z przerzedzonymi włosami, jest energicznym człowiekiem o szelmowskim uśmiechu. Gra na perkusji w pewnym zespole rockandrollowym, nie bez powodu noszącym nazwę *Groźne Uszkodzenie Opony*, a słynącym ze swoich błazeńskich wybryków w Internecie. Kiedy przestaje wspomagać ów

zespół w akcji ogłuszania publiczności, zajmuje się konstruowaniem komputerów XXI wieku. Zadaniem jego zespołu jest opracowanie prognoz dotyczących następnego etapu ewolucji maszyn liczących.

Ponieważ mikroprocesory stają się tak nieprawdopodobnie wydajne i niezwykle tanie, Weiser i inni naukowcy starają się przekonać świat, że wkrótce zupełnie niezauważenie tysiące chipów pojawi się w przedmiotach codziennego użytku, że przenikną one do ścian, mebli, urządzeń, opanują nasze mieszkania, samochody, znajdziemy je nawet w biżuterii. W przyszłości zwykły krawat może dysponować większą mocą obliczeniową niż obecnie superkomputer. Już teraz powstają prototypy urządzeń, które dyskretnie śledzą nasze przemieszczanie się z pokoju do pokoju, z budynku do budynku i mogą niedostrzegalnie spełniać nasze życzenia.

W przyszłości komputer przestanie być trudnym w obsłudze urządzeniem i przekształci się w naszego prawdziwego pomocnika. "Urządzenia, które dopasują się do otoczenia człowieka, zamiast zmuszać go do przystosowania się do świata maszyn, spowodują, że używanie komputera stanie się równie przyjemne jak spacer po lesie" - napisał Weiser. Te niewidzialne przyrządy będą się komunikować między sobą i automatycznie łączyć z Internetem. Stopniowo zaczną objawiać inteligencję i odczytywać nasze życzenia. Dzięki dostępowi do Internetu będą mogły w jednej chwili przekazać nam wiedzę całej planety.

Implikacje tej wizji są doprawdy zdumiewające. W porównaniu z inteligentnymi komputerami przyszłości nasz komputer osobisty wydaje się zwykłą maszynką do liczenia.

Prognozy formułowane przez naukowców z Xerox PARC i innych instytutów badawczych zaczęły budzić powszechne zainteresowanie. Pewnego dnia może się okazać, że los całych gałęzi gospodarki, wartych miliardy dolarów, zależy od na pozór nedorzecznych pomysłów tych szamanów techniki. Zdaniem najwybitniejszych amerykańskich ekspertów, komputery, zamiast przeobrażać się w drapieżne poczwary znane z filmów fantastycznonaukowych, staną się tak małe i wszechobecne, że w ogóle znikną z pola widzenia. Weiser ochrzcił tę epokę mianem ery "wszechobecnego komputera".¹⁴

Znikający PC

To dążenie do czynienia różnych rzeczy niewidzialnymi jest prawdopodobnie zakorzenione w ludzkiej naturze. "Znikanie - mówi Weiser - nie jest konsekwencją rozwoju techniki, ale ma związek z psychiką człowieka. Ilekroć ludzie opanują jakąś umiejętność wystarczająco dobrze, przestają być tego świadomi".¹⁵

Jeśli wydaje się nam, że Weiser posuwa się w swoich wnioskach zbyt daleko, pomyślny o ewolucji elektryczności oraz o silniku elektrycznym. W XIX wieku prąd i urządzenia nim zasilane były tak cenne, że projekty całych fabryk sporządzano pod kątem możliwości zainstalowania żarówek i ustawienia pękatek motorów. Rozmieszczenie stanowisk pracy, maszyn, stołów itp. podporządkowane było potrzebom elektryczności i napędzanych nią silników.

¹⁴ Mark Weiser, wywiad w: Weiser Web Page.

Dzisiaj prąd jest wszędzie, ukryty w ścianach i zmagazynowany w niewielkich bateriach. Silniki są tak małe i rozpowszechnione, że nawet w karoserii samochodu znajdują się ich dziesiątki -otwierają okna, ustawiają lusterka, uruchamiają radio i magnetofon, wysuwają antenę. Kiedy jednak prowadzimy samochód, nie myślimy o tym, że jesteśmy otoczeni 22 silniczkami i 25 cewkami.

Następny etap rozwoju komputerów można porównać do ewolucji, jaką przeszło pismo. Kilka tysięcy lat temu było ono sztuką tajemną, zazdrośnie strzeżoną przez nieliczną kastę skrybów, którzy posiadli umiejętność pisania na glinianych tabliczkach. Tabliczki te stanowiły rzadkość, gdyż trzeba je było mozolnie wypalać. Pilnowała ich zwykle straż królewska. Pierwszy papier był również czymś niezwykle cennym. Wszak produkcja niewielkiego zwoju trwała setki godzin. Papier był tak drogi, że jedynie panujący mieli do niego dostęp. Większość ludzi z rzadka tylko miała w swoim życiu okazję rzucić przelotne spojrzenie na drogocenny papier.

Dzisiaj nie zdajemy sobie nawet sprawy z tego, w jakim stopniu papier i słowo pisane zdominowały nasze życie. Nie widzimy nic dziwnego w tym, że na tablicach reklamowych, na opakowaniach gumy do żucia, na znakach informacyjnych, dosłownie wszędzie widać znaki pisma. Każdego dnia chwytamy kawałek papieru, coś na nim gryzmolimy i wyrzucamy. Pismo przebyło niezwykle drogą - od czasu, kiedy było ono pracochłonną, tajemną formą komunikowania się, zazdrośnie strzeżoną przez królów i skrybów, do etapu, kiedy nikt nie zwraca na nie uwagi, jest powszechnie dostępne i wszechobecne. (Jednym z najobfitszych źródeł śmieci we współczesnym świecie jest papier, i to niemal w całości zapisany lub zadrukowany).

Wizja wszechobecnych i niewidzialnych komputerów tylko pozornie wydaje się nierealna. Dzięki nieustannemu obniżaniu kosztów produkcji mikroprocesorów komputery staną się w końcu tak tanie, że "będziemy po prostu wyskakiwać do sklepiku za rogiem i kupować paczkę sześciu komputerów, tak jak dzisiaj kupujemy baterie" - twierdzi Weiser.¹⁶

W przemyśle komputerowym od momentu "wyklucia się" pomysłu do wejścia produktu na rynek upływa średnio 15 lat. Pierwszy PC, na przykład, zbudowano w Xeroxie w 1972 roku, ale dopiero pod koniec lat osiemdziesiątych komputery osobiste wzbudziły powszechne zainteresowanie. Idea wszechobecnego komputera zrodziła się w 1988 roku.¹⁷ Jej owoce (najprawdopodobniej) nie pojawią się przed 2003 rokiem. Mogą upłynąć jeszcze lata, zanim powstanie odpowiedni rynek. Można się jednak spodziewać, że około 2010 roku wszechobecny komputer wejdzie w fazę dojrzałą. A około 2020 roku zdominuje nasze życie.

Trzy fazy rozwoju komputerów

Aby Czytelnikowi łatwiej było zrozumieć proces ewolucji komputerów, przedstawimy go teraz w szerszym kontekście historycznym. Wielu analityków komputerowych dzieli historię komputera na trzy (lub więcej) okresy.

¹⁵ *The Computer in the 21st Century*. Scientific American Books, Nowy Jork 1995, s. 78.

¹⁶ *Ibidem*.

¹⁷ *Ibidem*

Pierwszą fazę, zapoczątkowaną przez IBM, Burroughsa, Honeywella i inne firmy, zdominowały komputery, które były co prawda niezgrabne i nieporęczne, ale dysponowały dużą mocą obliczeniową. Były one tak drogie, że z jednego głównego komputera (*mainframe*) korzystały całe tabuny naukowców i inżynierów. Jeden komputer przypadał często na stu uczonych. "Maszyn było tak mało i były tak drogie, że naukowcy traktowali je niemal z czcią, niczym starożytni Grecy swoje święte wyrocznie - powiedział kiedyś John Kemeny, były rektor Uniwersytetu w Dartmouth. - Był w tym pewien rodzaj mistycyzmu. Tylko wybrani akolici mieli prawo do bezpośredniego komunikowania się z komputerem".¹⁸

Podobnie jak w epoce glinianych tabliczek, powstała cała kasta "kapłanów" obsługujących i programujących komputery. Postronny obserwator mógł odnieść wrażenie, że mamroczący magiczne zaklęcia i odprawiający tajemne obrzędy kapłani zazdrośnie strzegą swojej władzy i nie pozwalają innym zbliżyć się do maszyn.

Druga faza rozwoju techniki komputerowej zaczęła się na początku lat siedemdziesiątych, kiedy inżynierowie z Xeroxa zauważyli, że pomimo ustawicznego zmniejszania się rozmiarów mikroprocesora moc obliczeniowa komputerów rośnie w błyskawicznym tempie. To właśnie oni przepowiedzieli, że w przyszłości na każdego użytkownika będzie przypadał przynajmniej jeden komputer. W 1972 roku skonstruowali pierwszy komputer osobisty o nazwie ALTO.¹⁹

Konstruktorzy z Xeroxa zdali sobie sprawę, że główną przeszkodą stojącą na drodze do powszechnej komputeryzacji jest szatańsko skomplikowany system komend i rozkazów oraz opasłe instrukcje obsługi, grube jak książka telefoniczna Manhattanu. Komputery nie były przyjazne dla użytkownika. Wręcz przeciwnie, były jego wrogiem. Wymyślono więc ekran komputera, na którym pojawiały się jedynie obrazki - ikony. Za pomocą myszki można wskazywać wybrane piktogramy, otwierać programy i manipulować nimi na wszelkie sposoby.

Dzięki temu genialnemu pomysłowi posługiwanie się komputerem stało się przyjemną zabawą, ciekawą wyprawą do niezbadanych i nieznanych krain menu oraz żartobliwych ikon.

Pomysły powstałe w Xerox PARC zostały zapożyczone przez firmę Apple, która stworzyła Macintosha. Później te same rozwiązania wykorzystwała także firma Microsoft Corporation; w ten sposób powstał Windows, program, który stał się niemal powszechnym systemem operacyjnym dla zalewających świat komputerów kompatybilnych z IBM PC. (Co ciekawe, Apple usiłował oskarżyć Microsoft o piracki zamach na system operacyjny Macintosha, choć sam zapożyczył ten system od Xeroxa).²⁰

Przejęcie do kolejnej fazy rozwoju komputerów nie było łatwe. Nawet olbrzymie, obracające milionami dolarów korporacje były bezwzględnie miażdżone, jeśli nie chciały lub nie umiały przystosować się do zmian w technice przetwarzania informacji. Jeszcze nie tak dawno IBM, Digital i Wang dominowały na rynku dużych komputerów, minikomputerów oraz procesorów tekstu. Korporacje te niesłusznie założyły jednak, że komputer osobisty to tylko chwilowa moda.

¹⁸ Steven Lubar: *Info Culture*. Houghton Mifflin, Boston 1993, s. 336.

¹⁹ *Ibidem*, s. 368-369.

²⁰ Wywiad z Weiserem.

Doprowadziło to do krachu, który wstrząsnął podstawami rynku komputerowego. Wang zbankrutował, a IBM i Digital poniosły wielomiliardowe straty, co zmusiło je do wymiany całego kierownictwa.

Faza trzecia i następne

Trzeci etap ewolucji komputerów określany jest obecnie mianem ery wszechobecnego komputera. W fazie tej wszystkie komputery połączone będą ze sobą, a stosunek liczby ludzi do liczby komputerów odwróci się: na jedną osobę przypadają będzie około stu komputerów.

Nawet dzisiejszy gigant oprogramowania, Microsoft, drży na myśl o nadchodzącej trzeciej fazie, którą zapoczątkował Internet. Jak przyznał Bill Gates: "Istnieją obawy, że żaden z głównych przedstawicieli pewnej epoki w rozwoju techniki komputerowej nie będzie liderem ery następnej. Microsoft był czołowym producentem epoki komputerów osobistych".²¹ Zdając sobie sprawę, że Microsoft może zostać wyrzucony przez Internet na śmietnik historii, Gates całkowicie zmienił politykę swojej korporacji. Starał się przystosować firmę do nieustannego rozwoju sieci komputerowych. Jeszcze w 1995 roku, w pierwszym wydaniu swojej książki *Droga ku przyszłości*, nie wspominał o konieczności dokonania takich zmian.

Przed 2020 rokiem era wszechobecnego komputera powinna wejść w stadium pełnego rozkwitu. Jednakże i ta faza nie będzie trwała wiecznie. Wydaje się bardzo prawdopodobne, że po 2020 roku skończy się panowanie krzemu i powstanie zupełnie nowy rodzaj komputerów.

Niektórzy eksperci sądzą, że doprowadzi to do fazy czwartej - pojawienia się sztucznej inteligencji w układach komputerowych. W latach 2020-2050 świat komputerów mogą zdominować ukryte, połączone w sieci komputery, dysponujące sztuczną inteligencją: będą wnioskować, rozumieć mowę, a nawet przejawiać coś w rodzaju zdrowego rozsądku.

Po roku 2050 komputery mogą wejść w piątą fazę. Zaczną zdawać sobie sprawę ze swojego istnienia, a nawet staną się świadome. Świat komputerów okresu 2020-2100 opiszemy dokładniej w następnych rozdziałach książki.

Wpływ kolejnych faz na nasze życie okaże się niezwykle głęboki, ponieważ będzie dotyczył wszystkich jego aspektów. Kilka z przyszłych cudów technologicznych, zwłaszcza tych, które pojawią się w ciągu następnej dekady, zostało już przedstawionych w mediach, na przykład kieszonkowy PC i "inteligentne" mieszkanie, opisane w książce Billa Gatesa. Wynalazki, które pokrótce omówimy w tym rozdziale, mogą być więc znane nie-

którym Czytelnikom. Jednakże w następnych rozdziałach wybiegniemy jeszcze dalej w przyszłość i spróbujemy przewidzieć zmiany, jakie dokonają się w naszym życiu do końca XXI wieku.

Prawo Moore'a

Aby w pełni docenić zadziwiający wzrost możliwości komputerów, który przenosi nas z jednej fazy rozwoju do następnej, należy pamiętać, że od lat pięćdziesiątych tego wieku do chwili obecnej

²¹ Bill Gates: *The Road Ahead*. Viking, Nowy Jork 1995, s. 273-274.

komputery zwiększyły swoje możliwości 10 miliardów razy. Prawo Moore'a głosi, że moc obliczeniowa komputerów podwaja się co 18 miesięcy. Tak błyskawiczny rozwój jest w historii techniki zjawiskiem bezprecedensowym.

Aby jeszcze lepiej wyobrazić sobie wielkość tego gigantycznego skoku, zwróćmy uwagę, że jest on większy niż przejście od zwykłych chemicznych materiałów wybuchowych do bomby termojądrowej! W ciągu ostatnich osiemdziesięciu lat moc obliczeniowa maszyn liczących wzrosła bilion razy. Są to astronomiczne liczby. Wskazują one, że nieuchronnie wступujemy w trzecią fazę rozwoju komputerów. Stosując prawo Moore'a, możemy przewidzieć, jakie przeobrażenia dokonają się w technice komputerowej w ciągu następnych 25 lat. Prawo Moore'a może się jednak okazać nieco zwodnicze, gdyż nasze możliwości umysłowe rosną raczej liniowo niż wykładniczo. Żyjąc z roku na rok, zauważamy w naszym otoczeniu tylko niewielkie zmiany. Dopiero w dłuższych okresach, pięcio-, dziesięcioletnich dostrzegamy, że wiele rzeczy zmieniło się diametralnie.

Odległej wizji wszechobecnego komputera sprzyjają dwie najpotężniejsze siły współczesnego świata: prawa ekonomii i prawa fizyki.

Ponieważ ceny mikroprocesorów wciąż spadają, wielu specjalistów sądzi, że zwykłe prawa wolnego rynku spowodują przejście przemysłu komputerowego w trzecią fazę. Zdaniem Rona Bernala, prezesa MIPS Technologies, cena mikroprocesora spadnie do 10 centów w 2000 roku, do 4 centów w roku 2005 i 2 centów w roku 2010. Z opinią tą zgadza się zasadniczo Thomas George, dyrektor działu półprzewodników w firmie Motorola. Przewiduje on wszakże, że cena chipa obniży się do 50 centów w roku 2000, 7 w roku 2005 i około 1 centa w 2010 roku. Mikroprocesory staną się w końcu równie tanie jak makulatura.²² I będzie ich tak samo dużo.

Ten ustawiczny, wykładniczy wzrost mocy obliczeniowej komputerów spowoduje powstanie zupełnie nowych gałęzi przemysłu. Kiedy cena procesora spadnie do paru groszy, wyposażanie weń zarówno urządzeń domowych, jak i mebli, samochodów czy całych fabryk stanie się niezwykle opłacalne. Zatem przedsiębiorstwa, które nie umieszczą w swoich produktach przynajmniej kilku układów elektronicznych, w starciu z konkurencją znajdą się na przegranej pozycji. (Już teraz, na przykład, grające karty świąteczne mają większą zdolność przetwarzania informacji niż komputery przed rokiem 1950).²³ Tak jak dziś na praktycznie każdym towarze znajduje się jakiś napis, tak w trzeciej fazie rozwoju komputerów każdy produkt będzie zawierać tani mikroprocesor.

Zdaniem Andrew Grove'a, dyrektora Intela, w przyszłości moc obliczeniowa komputerów stanie się "praktycznie darmowa i praktycznie nieskończona".

Aby jednak zrozumieć dynamikę i ograniczenia prawa Moore'a, trzeba zrozumieć potęgę mechaniki kwantowej - najbardziej fundamentalnej teorii Wszechświata.

Co leży u podstaw prawa Moore'a?

Tajemnica prawa Moore'a kryje się w tranzystorze, dokładniej w tym, jak on działa i jak go się wytwarza. W zasadzie tranzystor spełnia tę samą rolę co lampa elektronowa - kontroluje przepływ

²² Forbes ASAP, 2 lutego 1996, s. 60.

prądu. Podobnie jak strażak może sterować potężnym strumieniem wody w wężu, przykręcając i odkręcając zawór, tak niewielkie napięcia w tranzystorze kontrolują przepływ sporych prądów elektrycznych. A działaniem tranzystorów półprzewodnikowych rządzą prawa mechaniki kwantowej. (Zgodnie z teorią kwantową pewien niedomiar elektronów w którymś miejscu półprzewodnika, "dziura", zachowuje się jak cząstka podobna do elektronu, ale obdarzona przeciwnym - dodatnim ładunkiem elektrycznym. Ruchem elektronów i dziur w półprzewodnikach rządzą właśnie prawa mechaniki kwantowej).

Batalia o zminiaturyzowanie tranzystorów stanowi siłę napędową prawa Moore'a. Pierwsze tranzystory były zwykłymi elementami obwodów elektrycznych. Były to urządzenia wielkości kostki do gry, włączane do obwodu za pomocą zwyczajnych przewodów. Dzisiaj tranzystory wytwarza się, wykorzystując wiązkę światła, która wypala rowki i linie na płytce krzemowej (proces zwany fotolitografią).

Proces ten można porównać z techniką produkcji koszulek z kolorowymi nadrukami. Najstarszy sposób polegał na ręcznym malowaniu wzoru na każdej koszulce. Użycie szablonu jest lepszą metodą - przykładamy go do koszulki i rozpylamy barwnik. Technika ta pozwala na proste i powtarzalne wykonywanie nadruków, a więc na masową produkcję koszulek. (Podobnie światło przechodzi przez specjalny szablon, nazywany maską, który zawiera pożądany wzór połączeń i obwodów. Zogniskowana po przejściu przez maskę wiązka światła "drukuję" określony wzór na światłoczułej płytce. Płytkę tę poddawana jest następnie obróbce, polegającej na zastosowaniu odpowiednich substancji gazowych, które wytrawiają naświetlone miejsca na płytce, tworząc na niej układ obwodów. W ten sposób powstaje podstawowy szkielet obwodu. Tranzystory są wytwarzane w pewnych miejscach wytrawionych rowków przez napylenie warstw odpowiednich jonów. Proces napylenia powtarza się do dwudziestu razy, dzięki czemu tworzy się wielowarstwowy układ płytek krzemowych, pełnych połączeń i tranzystorów).

Dawni filozofowie dyskutowali o tym, jak wiele aniołów może zmieścić się na łebku szpilki. Obecnie eksperci komputerowi zastanawiają się, ile tranzystorów można zmieścić w mikroprocesorze za pomocą przedstawionej wyżej techniki wytrawiania. Procesor Power PC 620 firmy Motorola zawiera, na przykład, prawie 7 milionów tranzystorów w ceramicznej obudowie mniejszej od znaczka pocztowego.²⁴ Procesu miniaturyzacji nie można jednak ciągnąć w nieskończoność. Liczba ścieżek wytrawianych na płytce jest ograniczona. Wynika to częściowo z tego, że długość fali padającego światła jest skończona.²⁵

Zwykle do naświetlania płytki przygotowywanej do trawienia wykorzystuje się lampę rtęciową emitującą światło, którego długość fali mierzona jest w mikronach (mikron to jedna milionowa metra). W ostatnich dekadach prawo Moore'a zachowywało swoją moc dzięki temu, że światło lampy rtęciowej rozszczepiano i wybierano do trawienia linie o coraz mniejszych długościach fal.

²³ Paul Saffo: "The International Design Magazine", styczeń - luty 1995, s. 74.

²⁴ G. Dan Hutcheson, Jeny D. Hutcheson: Technologia i koszty w przemyśle półprzewodnikowym, "Świat Nauki", marzec 1996, s. 38.

²⁵ Dokładniej, według prawa Rayleigha, rozdzielczość, jaką można osiągnąć przy użyciu danej wiązki laserowej, jest określona ilorazem długości fali światła oraz apertury układu optycznego.

Tego typu lampy emitują silne linie widmowe odpowiadające długości fali 0,436 mikrona (światło widzialne) i 0,365 mikrona (ultrafiolet). Długości tego rzędu są około 300 razy mniejsze niż średnica włosa.

Technologia, która będzie zapewne dominować w pierwszych latach następnego wieku, mniej więcej do 2005 roku, oparta jest na użyciu impulsowego lasera ekscymerowego, z którego można otrzymać światło o długości fali 0,193 mikrona (zakres dalekiego nadfioletu). Ale po 2020 roku i ta technika przestanie być wystarczająca. Potrzebne będą nowe wynalazki, które zostaną omówione w rozdziale piątym.

Czujniki i ukryty komputer

Wielu czołowych informatyków rozwija i popularyzuje ideę wszechobecnego komputera. Dyrektor Instytutu Przyszłości, Paul Saffo, jeden z najwybitniejszych futurologów w USA, uważa, że upowszechnienie wszechobecnego komputera będzie nieuchronną konsekwencją rozwoju tanich technologii. Stworzony przez niego obraz przyszłości nosi nazwę elektronicznego ekosystemu.²⁶

Kiedy mówimy o ekosystemie lasu, myślimy o pewnym zbiorze roślin i zwierząt, które harmonijnie koegzystują i wchodzi między sobą w dynamiczne interakcje. Według Saffo mniej więcej co 10 lat pojawia się jakaś nowinka technologiczna zmieniająca stosunki między "stworzeniami", które współtworzą elektroniczny ekosystem.

Siłą napędową eksplozji komputerów osobistych w latach osiemdziesiątych był mikroprocesor. Z kolei w latach dziewięćdziesiątych przyczyną niezwykle szybkiego rozwoju Internetu (dokładniej omówimy to zagadnienie w następnym rozdziale) stało się połączenie ze sobą mikroprocesorów i tanich laserów, dzięki czemu biliony bitów zaczęły być przesyłane wzdłuż światłowodów z prędkością światła. Saffo sądzi, że w XXI wieku sprzężenie tanich czujników (sensorów) z procesorami i laserami spowoduje kolejny przełom.

W fazie trzeciej będziemy, według Saffo, otoczeni niewidzialnymi procesorami rejestrującymi naszą obecność, odgadującymi nasze życzenia, a nawet reagującymi na nasz dobry lub zły humor. Wszystkie te układy zostaną włączone do Internetu. Wyposażone w tego typu sensory, "zwierzęta z elektronicznego lasu", będą w stanie robić rzeczy, których obecnie większość komputerów nie potrafi, na przykład wyczuwać naszą obecność, a nawet nastrój. Saffo dodaje złośliwie, że już obecnie niektóre toalety "wyczuwają" naszą obecność (dzięki czujnikom podczerwieni). Lecz nawet najnowocześniejszy superkomputer Cray jest absolutnie nieświadom tego, kto i do jakiego celu go używa i gdzie znajduje się ta osoba. "Jeśli meteoryt uderzy w mój dom i zmiążdży mnie siedzącego przed komputerem, maszyna w ogóle nie spostrzeże, że coś się stało. Spokojnie będzie czekała na moją następną komendę!" - zauważa Saffo.²⁷

W trzeciej fazie będziemy wchodzić w interakcje z niewidzialnymi komputerami za pomocą gestów i głosu, a także dzięki ciepłu i polu elektrycznemu, które towarzyszą naszym organizmom. Niewidzialne media, dzięki którym komputery nauczą się rozpoznawać swoje otoczenie, to dźwięk i

²⁶ Paul Saffo, wywiad z autorem, 14 lutego 1996.

promieniowanie elektromagnetyczne. Czujniki głosu będą rejestrować mowę, aby spełnić każde nasze życzenie. Za pomocą ukrytych kamer wideo komputery dowiedzą się o naszej obecności, a nawet rozpoznają nasze miny. Położenie rąk i ciała będzie rejestrowane dzięki pomiarom naszego pola elektrycznego. "Inteligentne"

samochody same posłużą się radarem, żeby zorientować się w położeniu innych pojazdów. Czujniki podczerwieni, rejestrując wydzielane przez nas ciepło, będą potrafiły określić, w którym miejscu się znajdujemy. Komputery zaczną komunikować się ze sobą i z Internetem na falach radiowych i mikrofalach.

"Inteligentne" miejsce pracy oraz dom przyszłości

Pierwszym krokiem w długiej i ciekawej wyprawie ku wszechobecnym komputerom będzie stworzenie łatwo dostępnych urządzeń komputerowych, które nazwiemy tutaj plakietką, brulionem i tablicą. Urządzenia te będą się różnić rozmiarami. Plakietka powinna mieć szerokość kilku centymetrów, brulion - kilkunastu, a tablica - rzędu jednego metra. Prawdopodobnie na każde biuro będzie przypadać w przyszłości około 100 plakietek i od 10 do 20 brulionów. W każdym pokoju znajdzie się jedna lub dwie tablice.²⁸

Plakietki to małe przypinane odznaki. Od identyfikatorów noszonych obecnie przez pracowników wielu firm różnić je będzie możliwość przesyłania sygnałów w podczerwieni oraz moc obliczeniowa dorównująca komputerowi osobistemu. Ich prototypy zostały już wyprodukowane w firmie Olivetti, w Cambridge.

Plakietki będą rejestrować przemieszczanie się pracowników w obrębie budynku. Drzwi same będą się przed nami otwierać, a światła - zapalać w momencie naszego wejścia do pokoju (a po wyjściu automatycznie gasnąć). Portierzy w każdej chwili wskażą miejsce, w którym przebywa dany pracownik. Plakietka interkomu pozwoli pracownikom przekazywać i odbierać polecenia, a także zadawać pytania centralnemu komputerowi, który będzie rozumiał naszą mowę.

Plakietki można będzie wykorzystywać na tysiące sposobów.

Będą wyszukiwać ważne informacje w Internecie, powiadomią właściciela o istotnych wydarzeniach w przemyśle czy na giełdzie, zadzwonią gdzie trzeba, przypilnują spraw rodzinnych i tak dalej. Będą komunikować się między sobą, na przykład dyskretnie wymieniając informacje o rynku. W końcu osiągną tak małe rozmiary, że da się je ukryć w spinkach do mankietów czy w krawacie.

Większe, kilkunasto- lub kilkudziesięciocentymetrowe bruliony²⁹ to odpowiedniki brudnopisów, prawdziwych brulionów z taniego papieru, w których zwykliśmy bazgrać lub notować coś w pośpiechu. Z wyglądu będą przypominać wyjątkowo cienkie monitory komputerów i w końcu rzeczywiście osiągną grubość papieru. Zamiast taszczyć z pokoju do pokoju nieporęczne komputery, pracownicy w każdym pomieszczeniu będą mieli pod ręką bruliony. Wszystkie te

²⁷ *Ibidem.*

²⁸ *The Computer in the 21st Century*, s. 78-80.

²⁹ *Ibidem*, s. 85-87.

urządzenia bardzo się do siebie upodobnią. Bruliony będą leżeć na każdym biurku, tak jak dziś na każdym biurku leży mnóstwo kartek do pisania na brudno. Jednakże w odróżnieniu od zwykłych kartek papieru brulion będzie pełnowartościowym komputerem osobistym podłączonym do serwera. Nastanie więc epoka "inteligentnego" papieru.

Kiedy będziemy bazgrać na takim "inteligentnym" papierze, jego program graficzny zamieni nasze bazgroły w piękną grafikę, a edytor tekstu przerobi luźne notatki w gramatycznie poprawny tekst. Kiedy skończymy i wprowadzimy wynik naszej pracy do pamięci głównego komputera, ciśniemy po prostu nasz notatnik na stertę brulionów leżących na biurku.

Metrowej szerokości tablice to duże, skomputeryzowane ekrany wiszące na ścianie. W domu będą używane jako ekrany interaktywnej telewizji, wideo lub sieci WWW.³⁰ W biurze natomiast znajdują zastosowanie jako tablice do sporządzania notatek i przesyłania wiadomości lub jako podłączone do Internetu komputery mające ogromne możliwości. Wykorzystywane będą również do prowadzenia wideokonferencji. Zamiast wydawać tysiące dolarów na przeloty i podróże pracowników, kierownictwo firmy będzie mogło przekształcić taką tablicę w ekran i odbyć telekonferencję z personelem. Lekarze będą mogli za pomocą takich tablic nadzorować, nawet z odległych miejsc, skomplikowane zabiegi chirurgiczne.

Historycznie rzecz ujmując, jednym z pierwszych "inteligentnych" urządzeń używanych w biurze i w domu była maszyna do pisania. Kiedy wmontowano w nią mikroprocesor, stała się edytorem tekstu. Obecnie w naszych domach zaczynają się już pojawiać pierwsze prymitywne chipy, zainstalowane w różnych urządzeniach, ale ciągle jeszcze nie są one ze sobą połączone. W przyszłości, jeśli meteorolodzy zapowiedzą huragan, dom znajdzie w Internecie prognozę pogody i poczyni niezbędne przygotowania, powieźmy, dodatkowo ogrzeje niektóre pomieszczenia, poinformuje o sytuacji nieobecnych członków rodziny i będzie śledził najświeższe wiadomości. "Inteligentna" łazienka będzie kontrolowała stan zdrowia całej rodziny. W Japonii wprowadzana jest na rynek skomputeryzowana toaleta, która potrafi diagnozować nieskomplikowane dolegliwości. Mierzy puls w tętnicach udowych, a w przypadku cukrzyków przeprowadza automatyczną analizę moczu.

Chociaż takie narzędzia diagnostyki medycznej są wciąż jeszcze dość prymitywne, naukowcy spodziewają się ogromnego rozkwitu domowych przyrządów analitycznych, za pomocą których będzie można przeprowadzać badania elektrokardiograficzne i wykrywać białka wydzielane przez komórki, w których rozpoczyna się proces nowotworowy. W dalszej przyszłości "inteligentny" dom może pełnić funkcję komputerowej pielęgniarki - będzie ustawicznie analizował stan zdrowia lokatora oraz automatycznie, niepostrzeżenie przesyłał wszystkie dane do komputera lekarza domowego.

Laboratorium Środków Przekazu w MIT

Instytutem najsilniej chyba zaangażowanym w unifikację mediów, sztuki i techniki jest założone

³⁰ *Ibidem*, s. 87-88.

przez Nicholasa Negroponte'a Laboratorium Środków Przekazu w MIT. Laboratorium, ukryte wśród surowych budynków tworzących kampus MIT, mieści się w ultranowoczesnym, pokrytym białymi kafelkami gmachu zaprojektowanym przez I. M. Pei. (Ze względu na szczególny wygląd budynku pracownicy nazywają to miejsce toaletą Pei).

Kierownikiem projektu "Rzeczy, które myślą", chyba najambitniejszego i najbardziej prowokującego przedsięwzięcia inspirowanego ideą wszechobecnego komputera, jest fizyk Neil Gershenfeld, który przewiduje, że w przyszłości najzupełniej martwe przedmioty zaczną "myśleć".³¹

Żyjący w ciągłym pośpiechu Gershenfeld jest młodym, wysokim mężczyzną z jasną brodą i kasztanowymi lokami na głowie. Pochłania go zawsze kilka spraw naraz. O trzech rzeczach jednocześnie potrafi mówić szybciej niż większość z nas o jednej.

Gershenfeld opracował całkowicie nową metodę "wyczuwania" naszej obecności przez komputer. W przestrzeni otaczającej nasze ciała rozciąga się niewidzialne pole elektryczne, w którym tkwimy jak pająk w pajęczynie. Pole to jest wytwarzane przez elektrony gromadzące się na naszej skórze w postaci statycznej elektryczności. Kiedy się poruszamy, "aura" pola elektrycznego przemieszcza się wraz z nami.

Z praktycznego, handlowego punktu widzenia aura ta wydawała się do niedawna bezużyteczna. To właśnie Gershenfeld doszedł do wniosku, że gdybyśmy dysponowali czujnikami potrafiącymi rejestrować pole elektryczne otaczające nasze ciała, moglibyśmy prowadzić ciągle rozpoznanie położenia naszych rąk i palców.

Tak narodziła się idea "inteligentnego" stołu.³² Gershenfeld uwielbia demonstrować to nowe osiągnięcie techniki. Wymachuje ramionami nad skomputeryzowanym stołem niczym dyrygent prowadzący orkiestrę symfoniczną. Obok, na monitorze, wewnątrz wirtualnego sześcianu pojawia się obraz dłoni. Jednocześnie komputer odczytuje współrzędne w przestrzeni trójwymiarowej, dzięki czemu w każdej chwili można dokładnie określić położenie ręki. Gershenfeld nazywa to "wyczuwaniem pola elektrycznego".³³

Natychmiast znaleziono praktyczne zastosowanie dla tego urządzenia. W porównaniu z myszą, która porusza się w dwu tylko wymiarach (na płaszczyźnie), ów stół oferuje o wiele bogatszą i bardziej wszechstronną metodę porozumiewania się z komputerem. Pozwala również udoskonalić techniczne aspekty wirtualnej rzeczywistości. Żeby lokalizować ręce w przestrzeni, nie trzeba wkładać grubych, niewygodnych rękawic. (Chcąc uzyskać złudzenie wirtualnej rzeczywistości, nie musimy owijać się kablami jak świąteczna choinka. Cyberklienci przyszłości będą mogli "chodzić" po wirtualnych sklepach, poruszając tylko palcami).

Strategia Gershenfelda polega na poszukiwaniu odpowiedzi na pytanie: gdzie jeszcze można znaleźć niewykorzystaną przestrzeń i jak ją ożywić? Jednym z miejsc, na które dotychczas nie zwracano uwagi, są nasze buty, które najprawdopodobniej staną się w najbliższej przyszłości przedmiotami "inteligentnymi".

³¹ Neil Gershenfeld, wywiad z autorem, 26 lipca 1996.

³² Wywiad.

³³ Wywiad.

W przyszłości nasze buty mogłyby odgrywać rolę baterii niezbędnych do zasilania komputera. Noszenie wszędzie ze sobą pokaźnych rozmiarów źródła prądu, tak żeby w każdej chwili można było uruchomić komputer umieszczony w spince do krawata, wydaje się niewygodne. Ale, jak podkreśla Gershenfeld, nasze poruszające się ciało generuje możliwą do odzyskania energię w ilości 80 watów.³⁴ Z ruchów samych tylko butów łatwo można uzyskać przynajmniej 1 wat mocy.

Gershenfeld znalazł również inny sposób wykorzystania butów. W przyszłości w obcasach umieszczone zostaną elektrody, dzięki którym będziemy mogli przekazywać innym swoje dane personalne. Zamiast wymieniać wizytówki, podamy sobie po prostu ręce. Ponieważ skóra jest słonawa i przewodzi prąd, cały nasz życiorys może zostać elektrycznie przekazany z naszego obcasa do dłoni, a następnie do ręki i do obcasa osoby, z którą się witamy. W ten sposób będziemy mogli wymieniać duże pliki podczas zwykłego spotkania na ulicy.

Nic dziwnego, że motto laboratorium "Rzeczy, które myślą" brzmi:

*Niegdyś buty brzydko pachniały. Potem pięknie błyszcząły, A jutro będą myślały.*³⁵

Jakie komputery nosi się w tym sezonie?

Kolejny pomysł rodzący się w laboratorium "Rzeczy, które myślą" dotyczy okularów. Opracowano tam sposób umieszczania miniaturowego ekranu komputera nad szklami okularów. Coś, co wygląda jak dziwny okular podobny do jubilerskiej lupki, przymocowane jest do oprawki okularów i ma prawdziwy ekran PC wyposażony w diody emitujące światło. Gdy przyjrzymy mu się dokładniej, zobaczymy jasne symbole, zupełnie takie same, jakie widzimy na ekranie normalnego komputera osobistego.

W pogodny dzień można w Cambridge spotkać studentów z Laboratorium Środków Przekazu ubranych jak cyborgi, wyposażonych w hełmy, specjalne okulary i elektrody ukryte w ubraniu. Mają oni przy sobie uproszczone klawiatury pozwalające im pisać na ekranach monitorów zamocowanych w okularach.

Są to niezdarne jeszcze początki kolejnego realizowanego w tym laboratorium projektu, nazwanego Komputery-ubrania, którego celem jest przekształcenie każdej osoby w ruchomy węzeł WWW³⁶. Steve Mann podłączył do Internetu swoje niewielkie kamery wideo zainstalowane nad okularami. Dzięki temu inni ludzie, nawet ci, którzy mieszkają w miejscowościach odległych o tysiące kilometrów, mogą oglądać świat oczami Steve'a.³⁷ Niewykluczone, że w przyszłości będziemy mogli rozglądać się po świecie oczami innych osób.

Komputery-ubrania wykorzystują wiele własności telefonu komórkowego i komputera przenośnego. Gwałtownie rosnąca sprzedaż laptopów (już teraz stanowią one jedną czwartą sprzedanych komputerów osobistych) dowodzi, że przenośne komputery są znaczącym elementem komputerowego krajobrazu. Kiedy koszty produkcji staną się jeszcze niższe, wielu użytkowników telefonów komórkowych i laptopów chętnie zastąpi je sprytnym, prawie

³⁴ Wywiad.

³⁵ Media Lab Web Page.

³⁶ Media Lab Web Page.

niewidocznym urządzeniem o mocy superkomputera.

Ludziom jadącym taksówką, robiącym zakupy w supermarkecie czy podróżującym samolotem da to poczucie ogromnej swobody. Ukryte w ubraniu komputery mogą być szczególnie przydatne dla lekarzy, umożliwią im bowiem natychmiastowe dotarcie do historii choroby; dla policjantów, którzy będą mogli w każdej chwili sprawdzić dane zatrzymanych osób; dla dziennikarzy lub maklerów giełdowych, którzy będą mieli całodobowy dostęp do niezbędnych informacji.

W przyszłości komputery-ubrania będą ratować ludzkie życie. Jeśli wystąpią pierwsze objawy zawału serca, a Ty znajdziesz się daleko od szpitala czy telefonu, wmontowany w ubranie komputer dyskretnie monitorujący pracę serca natychmiast je rozpozna i zawiadomi pogotowie. W ułamku sekundy po wypadku samochodowym komputer wezwie karetkę. Twój "komputer pokładowy", korzystający z systemu GPS³⁸ (opiszę go w dalszej części książki), będzie potrafił w każdej chwili precyzyjnie określić współrzędne miejsca, w którym się znajdujesz. Obecnie dziesiątki tysięcy ludzi umierają na zawał serca i na skutek obrażeń odniesionych w wypadkach tylko dlatego, że nie ma w pobliżu nikogo, kto by mógł wezwać pogotowie.

"Inteligentny" pokój

W dalszej przyszłości pracownicy Laboratorium Środków Przekazu zamierzają skonstruować urządzenia, które będą śledziły i imitowały pełny zestaw interakcji międzyludzkich. Do komunikowania się ludzie używają nie tylko języka. Stosujemy bogatą i złożoną mowę ciała, na którą składa się mnóstwo sygnałów: kontakt wzrokowy, mimika, ruchy rąk i całego ciała, intonacja głosu. Pierwszym krokiem do skonstruowania takich urządzeń ma być zaprojektowanie "inteligentnego" pokoju, który nie tylko rozpozna osoby w nim przebywające, ale również przeanalizuje ich stany emocjonalne oraz wysyłane przez te osoby sygnały.

Prototypowy "inteligentny" pokój przyszłości jest zwykłą salką wyposażoną w niewielkie kamery zainstalowane na suficie i ekran w całości pokrywający podłogę.

"Wyobraź sobie dom, który zawsze wie, gdzie są twoje dzieci, i daje ci znać, gdy grozi im jakieś niebezpieczeństwo. Albo biuro, które przypomni ci o ważnym spotkaniu i dopilnuje, by nikt ci nie przeszkadzał. Albo samochód, który wyczuwa, kiedy jesteś zmęczony, i ostrzega cię, że powinieneś przerwać jazdę" - pisze Alex Pentland z Laboratorium Środków Przekazu.³⁹

Dzisiejsze komputery nie potrafią rozpoznawać ludzkiej twarzy widzianej pod różnymi kątami. Dla komputera twarze stanowią obiekty najtrudniejsze do identyfikacji. Jednakże pracownicy laboratorium starają się rozwiązać i ten trudny problem. Do pamięci komputera wprowadzono obrazy twarzy, które służą jako wzorce. Jeśli zeskanujemy twarz obcej osoby i pozwolimy komputerowi porównać te dane z obrazami zachowanymi w jego pamięci, to w 99 przypadkach na 100 komputer odnajdzie właściwą osobę wśród kilkuset innych.⁴⁰

Komputery z Laboratorium Środków Przekazu potrafią również odgadnąć, na podstawie wyrazu

³⁷ "Business Week", 24 czerwca 1996, s. 119.

³⁸ GPS to skrót angielskiej nazwy *Global Positioning System* (globalny system lokalizacji) (przyp. red-).

³⁹ Alex P. Pentland: *Inteligentne pomieszczenia*, "Świat Nauki", czerwiec 1996, s. 48.

twarży, w jakim nastroju jest dana osoba. Umieszczone w odpowiednich miejscach czujniki rejestrują śmiech, uśmiech, zdawkowy grzecznościowy grymas lub nachmurzoną minę. Naukowcy skonstruowali już komputery, które mogą rozpoznawać nasze uczucia, analizując pewne charakterystyczne ruchy mięśni twarzy. Wiadomo, że uśmiech jest związany z rozciąganiem się mięśni ust, uniesione wysoko brwi wyrażają zaskoczenie, a zmarszczone czoło jest oznaką gniewu. Uczucie niesmaku powoduje ruchy mięśni całej twarzy. Komputerowa analiza obrazu różnych części twarzy pozwala poprawnie określić stan emocjonalny badanych osób w 98% przypadków.⁴¹

“Inteligentne” karty magnetyczne, cyfrowe pieniądze i cyberforsa

Pieniądze stają się cyfrowe. Jak to skomentował James Gleick z “New York Timesa”, cyfrowe pieniądze to “pieniądze, które ostatecznie wcieliły się w informację”.⁴² W dużych bankach i międzynarodowych korporacjach przeistoczenie to stało się już rzeczywistością. Tylko jedna dziesiąta spośród 4 bilionów dolarów znajdujących się w obiegu w Stanach Zjednoczonych ma postać rzeczywistych banknotów i monet przechowywanych w bankowych sejfach i portfelach obywateli. “Nikt dzisiaj nie ładuje 5 miliardów dolarów na ciężarówkę i nie wiezie tego z jednego banku do drugiego. To wysoce nieracjonalne” -stwierdza Kawika Daguio ze Związku Bankowców Amerykańskich.⁴³ Wkrótce nawet ta jedna dziesiąta zostanie zamieniona na bity.

W nadchodzących latach, wraz z dramatycznym spadkiem cen mikroprocesorów, pojawi się silna presja ekonomiczna, która zmusi ludzi do używania inteligentnych kart magnetycznych i cyfrowych pieniędzy. Stanie się tak dlatego, że funkcjonowanie społeczeństwa posługującego się gotówką wymaga zbyt dużych nakładów. “Koszt liczenia, przewożenia, magazynowania i pilnowania pieniędzy stanowi około 4% wartości wszystkich transakcji. Straty ponoszone przez osoby, które posługują się gotówką zamiast trzymać pieniądze na koncie, są również istotne” - twierdzi Carol H. Fancher, prowadząca dla Motoroli badania nad stosowaniem kart magnetycznych.⁴⁴

“Pieniądze to także ciężar dla banku - mówi Sholom Rosen z Citibanku. -To nie jest srebro ani złoto”. Pieniądze trzymane w skarbcu bankowym nie procentują i nie zyskują na wartości, a poza tym muszą być przez cały czas pilnowane.

Najwięcej prymitywnych kart magnetycznych, zawierających kilka kilobajtów pamięci, produkuje się w Europie. O pozytywnym nastawieniu klientów do tych kart, wykorzystywanych głównie jako karty telefoniczne, świadczy ich popularność we Francji (gdzie w użyciu jest ich ponad 20 milionów) oraz w innych krajach Europy, gdzie emituje się większość krążących po świecie 250 milionów kart.

Niemcy rozpoczęły wydawanie swoim obywatelom kart, w których zawarte są podstawowe dane

⁴⁰ *Ibidem*, s. 52.

⁴¹ *Ibidem* s. 55.

⁴² “New York Times Magazine”, 16 czerwca 1996, s. 28.

⁴³ *Ibidem*.

⁴⁴ Carol H. Fancher: Inteligentne karty, “Świat Nauki”, październik 1996, s. 27.

dotyczące stanu zdrowia danej osoby. Podczas olimpiady w Atlancie wyprodukowano najwięcej kart magnetycznych w całej historii USA. Wydano ponad milion kart honorowanych w restauracjach, sklepach i kolejkach podziemnych.

Wkrótce inteligentne karty zastąpią karty do bankomatów, telefoniczne, kredytowe, potrzebne do zaparkowania samochodu, używane w metrze i w sklepach. Karty będą zawierały dane osobiste, dotyczące stanu zdrowia i rodzaju ubezpieczenia, a także cały album rodzinnych fotografii. A poza tym będzie je można włączyć do Internetu.

Inteligentne samochody

Skutki rewolucji komputerowej odczuje nawet przemysł samochodowy, w którym przez ostatnie 70 lat nie było większych przewrotów.

Przemysł samochodowy jest jedną z najbardziej dochodowych i potężnych gałęzi gospodarki. Obecnie po Ziemi jeździ około 500 milionów samochodów, co oznacza, że jeden samochód przypada na mniej więcej dziesięć osób. Wartość globalnej sprzedaży samochodów sięga biliona dolarów rocznie. Jest to więc największy przemysł wytwórczy na świecie.⁴⁵

Zarówno samochód, jak i drogi, po których się on porusza, ulegną łącznie rewolucyjnym zmianom w XXI wieku. Podstawę "inteligentnego" samochodu przyszłości będą stanowiły czujniki. "Powstaną pojazdy i drogi, które widzą i słyszą, mają węch, porozumiewają się i same podejmują działania" - przewiduje Bill Spreitzer, dyrektor techniczny prowadzonego w General Motors programu ITS, którego celem jest skonstruowanie inteligentnych samochodów i dróg przyszłości.⁴⁶

W Stanach Zjednoczonych w wypadkach drogowych ginie rocznie około 40 tysięcy osób. Liczba zabitych i rannych jest tak wielka, że gazety nie podają nawet ich nazwisk. Ponad połowę wypadków powodują pijani kierowcy, a znaczna część kolizji jest wynikiem lekceważenia przepisów i nieuwagi. Inteligentny samochód będzie potrafił zapobiec większości wypadków. Dzięki elektronicznym czujnikom "poczucie", że kierowca jest pijany, i odmówi włączenia silnika. W przypadku kradzieży zawiadomi dyskretnie policję i dokładnie wskaże miejsce, w którym się znajduje.

Zbudowano już inteligentne samochody rejestrujące poczynania kierowcy i analizujące sytuację na drodze. Niewielkie radary umieszczone w zderzakach wykrywają obecność innych samochodów znajdujących się w pobliżu. Jeśli popełnisz poważny błąd (na przykład, zmienisz pas, nie zdając sobie sprawy, że w martwym polu widzenia jest inny pojazd), twój samochód natychmiast wyda ostrzegawczy sygnał dźwiękowy.

W Laboratorium Środków Przekazu powstaje już prototyp samochodu, który będzie potrafił "dostrzec" u kierowcy objawy senności. Takie urządzenia mogą być niezwykle przydatne dla kierowców ciężarówek pokonujących długie trasy. Monotonne, niemal hipnotyczne wpatrywanie się przez wiele godzin w pas na środku jezdni działa na wielu ludzi usypiająco. Niewielka kamera umieszczona w tablicy rozdzielczej będzie "obserwować" twarz i oczy kierowcy. Jeśli "zauważy",

⁴⁵ "The Economist", 22 czerwca 1996, s. 3.

że jego powieki są zbyt długo przymknięte, a samochód zaczyna jechać chaotycznie, ukryty w tablicy rozdzielczej komputer pokładowy nada sygnał ostrzegawczy.

Zagubienie się lub utknięcie w korku to sytuacje niesłychanie irytujące dla kierowców. Choć jest mało prawdopodobne, by rewolucja komputerowa uwolniła nas od tych problemów, może ona ułatwić znalezienie jakichś rozwiązań cząstkowych. Zainstalowane w samochodzie czujniki, dostrojone do częstotliwości sygnałów radiowych wysyłanych przez wiszące nad Ziemią satelity, będą mogły w każdej chwili dokładnie określić naszą pozycję i ostrzec o ewentualnych korkach. Obecnie w przestrzeni nad Ziemią krążą 24 satelity *Navstar*, będące zasadniczym elementem globalnego systemu lokalizacji (GPS). Dzięki nim możemy określić swoją pozycję na powierzchni Ziemi z dokładnością do kilkudziesięciu metrów.⁴⁷ W każdej chwili nad naszymi głowami na wysokości około 18 tysięcy kilometrów orbituje kilka satelitów systemu GPS. Każdy satelita wyposażony jest w cztery zegary atomowe pracujące na wybranej, tej samej dla wszystkich częstotliwości, odmierzające czas zgodnie z prawami mechaniki kwantowej.

Odbiornik fal radiowych przekazuje sygnał wysłany przez znajdującego się nad nim satelitę do komputera pokładowego samochodu. W tej samej chwili komputer, na podstawie informacji o czasie potrzebnym na pokonanie drogi satelita-samochód, przelicza odległość od samochodu do satelity. Ponieważ prędkość światła jest dokładnie wyznaczoną wielkością fizyczną, opóźnienie sygnału można przełożyć na odległość.

W Japonii jeździ już ponad milion samochodów wyposażonych w jakiś rodzaj układu nawigacyjnego. (Niektóre z nich korelują przejechany dystans i liczbę obrotów kierownicy z pozycją samochodu na mapie).

W niedługim czasie, przy tak szybkim spadku cen mikroprocesorów, możliwości wykorzystania systemu GPS staną się praktycznie nieograniczone. "Zastosowania komercyjne [systemu GPS] są w przededniu eksplozji" - twierdzi Randy Hoffman z Magellan Systems, firmy produkującej układy nawigacyjne. Laski dla niewidomych wyposażone w czujniki GPS, systemy zdalnego lądowania samolotów, urządzenia dla turystów i podróżników zapuszczających się w niezamieszkałe okolice - lista możliwych zastosowań nie ma końca.⁴⁸

System GPS to w istocie tylko część większego przedsięwzięcia, nazwanego telematyką, którego celem jest umieszczenie inteligentnych samochodów na inteligentnych autostradach. Prototypy takich dróg szybkiego ruchu już istnieją w Europie, a w Kalifornii rozpoczęto eksperymenty z rozmieszczaniem wzdłuż autostrad procesorów, sensorów i przekaźników radiowych ostrzegających przed korkami i innymi przeszkodami.⁴⁹

Na trzynastokilometrowym odcinku międzystanowej autostrady nr 15, 16 kilometrów na północ od San Diego, inżynierowie ruchu instalują zaprojektowany w MIT system mający odgrywać rolę automatycznego kierowcy. Dzięki komputerom i tysiącom kilkucentymetrowych magnetycznych

⁴⁶ "Wall Street Journal Supplement", lipiec 1996, s. 8.

⁴⁷ "New York Times", 5 marca 1996, s. D1.

⁴⁸ *Ibidem*.

⁴⁹ W Anglii istnieje już podobny system o nazwie Trafficmaster. "The Economist", 22 czerwca 1996, s. 16.

"kolców" wmontowanych w powierzchnię jezdni możliwe stanie się przejęcie całkowitej kontroli nad strumieniem samochodów na ruchliwej szosie. Samochody będą poruszać się równocześnie pod kontrolą komputera w grupach po 10-12 pojazdów, oddalonych od siebie o mniej więcej dwa metry. Konstruktorzy spodziewają się, że system zostanie oddany do użytku przed grudniem 2001 roku.⁵⁰

Twórcy skomputeryzowanej autostrady wiążą z nią wielkie nadzieje. Przed 2010 rokiem jedna z największych autostrad w USA powinna stać się telematyczną drogą ruchu. Jeśli wszystko pójdzie zgodnie z planem, do roku 2020, kiedy to cena mikroprocesora spadnie poniżej jednego centa, tysiące kilometrów autostrad w Stanach Zjednoczonych powinny zostać wyposażone w systemy telematyczne. Dzięki temu rozwiązaniu zmniejszy się również zanieczyszczenie środowiska, spadnie bowiem zużycie paliwa, skrócą się korki, do atmosfery będzie się przedostawać mniej trujących substancji i zapewne nie trzeba będzie budować tylu nowych dróg.

Wirtualna rzeczywistość i cybernauka

Kolejną technologią, która stanie się integralną częścią naszego życia w 2020 roku, będzie rzeczywistość wirtualna. Wszechobecny komputer, który ma uczynić doskonalszym istniejący już świat, jest w pewnym sensie przeciwieństwem wirtualnej rzeczywistości, tworzącej w pamięci komputera świat urojony, nieprawdziwy, w którym, dzięki goglom i joystickom, możemy podróżować w przestrzeni i w czasie. Naprawdę jednak wirtualna rzeczywistość i wszechobecny komputer uzupełniają się wzajemnie. Ukryte komputery nieskończenie udoskonala świat, w którym żyjemy, i obdarzą "inteligencją" nieożywione przedmioty w naszym otoczeniu, a wirtualna rzeczywistość umieści nas wewnątrz komputera.⁵¹

Dzisiaj wirtualna rzeczywistość jest jeszcze dość prymitywna, ale z czasem jej poziom techniczny będzie się stawał coraz wyższy. Joystick zostanie zastąpiony specjalnym strojem oraz czujnikami pola elektrycznego, które obejmą kontrolę nad położeniem wszystkich części ciała w trzech wymiarach. Zamiast gogli będziemy używać lekkich okularów z wyświetlaczem LCD, a w miejsce nieporęcznych przewodów pojawią się odbiorniki radiowe połączone z Internetem.

Wirtualna rzeczywistość jest potężnym narzędziem naukowym, pomocą w nauczaniu, a także źródłem rozrywki. Dzięki niej powstaje nowy rodzaj działalności naukowej, zwany cybernauką, polegający na symulowaniu niezwykle złożonych układów fizycznych (czarnych dziur, supernowych, pogody, zjawisk opływowych dla hiperdźwiękowych odrzutowców).

Rozwój nauki przez wieki postępował dwoma drogami: na jednej królowały eksperymenty, drugą kroczyła teoria. Niektórzy badacze prowadzili doświadczenia, inni próbowali objaśniać uzyskane wyniki za pomocą matematycznych formuł i teorii. Obecnie powstaje nowa, trzecia postać nauki, wykorzystująca rzeczywistość wirtualną do symulacji komputerowych. Otwiera to przed uczonymi zupełnie nowe perspektywy.

⁵⁰ "International Herald Tribune", 29-30 czerwca 1996, s. 2.

Od czasów Newtona przyroda była opisywana za pomocą równań różniczkowych, w których można zawrzeć informację o zachodzących w trakcie ewolucji drobnych zmianach kształtu lub innych cech. Okazało się, że równania różniczkowe pozwalają uzyskać zaskakująco realistyczny obraz zjawisk fizycznych, poczynając od sztormów, poprzez ruch rakiet, a na cząstkach elementarnych kończąc. Komputery idealnie nadają się do modelowania rozwiązań równań różniczkowych, ponieważ mogą wyliczać, co się stanie z jakimś obiektem w ciągu następnej mikro- lub nanosekundy. Dostarczają nam serii ujęć migawkowych, realistycznie odtwarzających ewolucję obiektu.

Symulacje komputerowe stają się obecnie tak dokładne, że całe gałęzie nauki opierają się na ich wynikach. Nie pozostanie to zapewne bez wpływu na rozwój komercyjnych technologii przynoszących wielomiliardowe zyski. W wielu dziedzinach komputery są jedynym narzędziem pozwalającym rozwiązywać równania różniczkowe. Oto lista kilku problemów, do których rozwiązania powinna przyczynić się cybernauka:

Egzotyczne obiekty w przestrzeni kosmicznej. Komputery są nadzwyczaj przydatne w badaniach supernowych, gwiazd neutronowych i czarnych dziur. "Jedyną nadzieję na uczynienie astronomii nauką eksperymentalną pokładamy w symulacjach komputerowych"⁵² - twierdzi Bruce Fryxell z NASA.

Struktura białek. Jeśli jakieś białko nie przybiera postaci kryształu, nie można zbadać jego struktury za pomocą krystalografii rentgenowskiej. Uczniom muszą w takim wypadku posługiwać się prawami mechaniki kwantowej i elektrostatyki.

Złożone układy równań, które określają strukturę takich białek, można rozwiązać tylko przy użyciu komputera. Niewykluczone, że obliczenia komputerowe staną się jedynym sposobem umożliwiającym poznanie struktury i własności dużej klasy białek.

Aerodynamika. Za pomocą komputerów można również symulować przepływ powietrza przy powierzchniach samochodów i hipersonicznych odrzutowców⁵³ poruszających się z prędkością wielokrotnie przekraczającą prędkość dźwięku. Poznanie mechanizmów tych zjawisk może mieć kapitalne znaczenie dla obniżenia w przyszłości kosztów lotów z prędkościami hipersonicznymi.

Efekt cieplarniany. Obliczenia komputerowe są obecnie jedyną metodą, dzięki której mamy szansę się dowiedzieć, czy rosnący poziom stężenia dwutlenku węgla w atmosferze (wynik spalania paliw kopalnych) może podwyższyć temperaturę otoczenia i spowodować efekt cieplarniany. Jeśli na początku przyszłego wieku nastąpi rzeczywiście globalne ocieplenie klimatu, gospodarka całej planety może zostać zdeorganizowana.

Testowanie materiałów. Odkształcenia i naprężenia w materiałach o dużym znaczeniu przemysłowym najlepiej jest modelować za pomocą komputera. Unika się w ten sposób wydawania milionów dolarów na kosztowne testy prawdziwych próbek.

⁵¹ Wywiad z Weiserem.

⁵² "Science News", 15 kwietnia 1995, s. 235.

⁵³ Autor rozróżnia prędkości "ponaddźwiękowe" (do kilku machów) oraz "hiper-somczne" (od kilkuset do kilku tysięcy machów). Podobne rozróżnienie stosuje się dla ultradźwięków i hiperdźwięków (przyp. tłum.).

Skazani na "jedną dziesiątą"?

Przekonaliśmy się już, że niezawodne prawo Moore'a pozwala nam określić z dość dużą dokładnością datę pojawienia się nowych, fascynujących urządzeń. Trzecia faza rozwoju komputerów stanie się rzeczywistością dzięki mikroprocesorom, laserom i czujnikom. Prawo Moore'a powinno sprawdzać się mniej więcej do 2020 roku. Wtedy istotną rolę odegrają prawa mechaniki kwantowej, które zmuszą uczonych do stworzenia komputerów o zupełnie odmiennej konstrukcji.

Jednakże technologia, w której wytwarza się układy elektroniczne wiązkami światła o średnicy mniejszej niż 0,1 mikrona, wkrótce osiągnie swoje granice. Uczeni nazywają to "barierą jednej dziesiątej". Wielkość ta w zasadzie odpowiada średnicy cząsteczki DNA. Niektórzy specjaliści od komputerów porównują trudności w przełamaniu granicy 0,1 mikrona do trudności z pokonaniem bariery dźwięku. Poniżej granicy 0,1 mikrona płytki nie mogą być wytrawiane za pomocą światła z zakresu nadfioletu: trzeba użyć promieni Roentgena lub wiązki elektronów, nad którymi znacznie trudniej zapanować. Ponadto, przy tej skali długości zaczną grać rolę falowe własności elektronów i atomów, co zmusi projektujących procesory uczonych do całkowitego porzucenia fizyki Newtona. Tak więc należy się spodziewać, że około roku 2020 dotarcie do bariery jednej dziesiątej zakończy złoty wiek krzemu.

Futurologdy z Laboratorium Środków Przekazu twierdzą, że wkroczenie w fazę gospodarki informatycznej będzie równoznaczne z przejściem od atomu do bitu. (Bit jest najmniejszą jednostką informacji, określającą na przykład pojawienie się 0 lub 1). Manewrowanie atomami jest trudne i kosztowne, przyszłość należy zatem do bitów, które z prędkością równą niemal prędkości światła można łatwo przesyłać kablami i przewodami jako sygnały cyfrowe. Tak więc wiek atomu otwiera nam drogę do cyberprzestrzeni i wieku informatyki.

Ale to tylko część prawdy. Prawo Moore'a, czyli siła napędowa wieku informatyki, ostatecznie skapituluje przed czymś potężniejszym niż elektryczność - przed mechaniką kwantową. W końcu atomy znów zaczną górować nad bitami. To mechanika kwantowa umożliwiła zbudowanie tranzystora i to ona zadecyduje, co będzie dalej. Rewolucja, którą zapoczątkował mikroprocesor, dobiegnie końca około roku 2020 i fizycy będą musieli stworzyć podstawy nowej generacji komputerów.

Prawo Moore'a będzie jednak obowiązywać jeszcze przez następnych 25 lat, dopóki nie przestanie rosnać liczba tranzystorów wytwarzanych na powierzchni płytek krzemowych. Dlatego też możemy w miarę dokładnie przewidzieć, jakie zmiany zajdą w świecie techniki do 2020 roku i kiedy pojawią się na rynku te wszystkie cudowne urządzenia, opisane w tym i w następnym rozdziale.

Poza tym, zanim nadejdzie rok 2020, Internet stworzy w cyberprzestrzeni nowy świat: z handlem elektronicznym, z elektronicznymi pieniędzmi, wirtualnymi bibliotekami i uniwersytetami *on-line*, cybermedycyną itd. Lecz jeszcze bardziej fascynująca wydaje się epoka późniejsza, po 2020 roku, kiedy to komputery staną się tak potężne i powszechne, że powierzchnia Ziemi zacznie pulsować

jak żywa błona, nośnik "planetarnej inteligencji". Dopiero wtedy Internet rzeczywiście upodobni się do baśniowego czarodziejskiego zwierciadła.

W następnym rozdziale zajmę się opisem tej czwartej fazy rozwoju komputerów, której ukoronowaniem będzie powstanie "inteligentnej" planety.

ROZDZIAŁ 3

INTELIĞENTNA PLANETA

Internet jest jak wysoka fala przyływu, która ciągle wzbiera i wzbiera, a my jesteśmy jak płynący kajakiem turyści. Fala biegnie tysiącami mil przez Pacyfik i nabiera rozpędu.

I nadejdzie chwila, że uniesie nas w górę i ciśnie w dół. [...] Wszyscy to odczują -przemysł komputerowy, telekomunikacja, media, producenci układów elektronicznych i oprogramowania. Tylko niektórzy zdają sobie z tego sprawę⁵⁴

ANDREW GROVE, dyrektor Intela

Zwierciadelko, powiedz przecie,

Kto jest najpiękniejszy w świecie?

BRACIA GRIMM: Królowna Śnieżka

W 1851 roku amerykański prozaik, Nathaniel Hawthorne, pisał w *Domu o siedmiu szczytach*:

“Czy jest faktem [...], że za pomocą elektryczności świat materii stał się jednym wielkim nerwem przesyłającym drgania na tysiące mil w nieskończenie małym odcinku czasu? Lub raczej okrągły glob ziemski jest olbrzymią głową, mózgiem, instynktem wyposażonym w inteligencję!”⁵⁵

Hawthorne z najwyższym zdumieniem obserwował niemal cudowne zjawisko powstawania połączeń telegraficznych pomiędzy największymi miastami świata. Zastanawiał się, w jaki sposób ta tajemnicza substancja, zwana elektrycznością, może przenosić sygnały i nagle ożywiać martwe urządzenia odległe od siebie o tysiące mil? W rozważaniach na temat przyszłości Hawthorne poszedł jeszcze dalej: przepowiedział on nadejście tego wielkiego dnia, kiedy elektryczność obdarzy całą planetę kosmiczną inteligencją. Ponad sto lat później słowa Hawthorne'a podsunęły Marshallowi McLuhanowi pomysł znanego określenia “globalna wioska”. W XXI wieku, dzięki rewolucji w telekomunikacji zainicjowanej przez mikroprocesor i laser, wizja Hawthorne'a stanie się faktem.

Ukryte komputery trzeciej fazy będą ze sobą “rozmawiać” i powstanie pulsująca życiem błona otaczająca całą Ziemię. Pierwsze oznaki zbliżających się przemian możemy dostrzec już teraz w Internecie, który, łącząc ze sobą wszystkie komputery świata, przekształca się z wolna w informacyjną superautostradę.

Informatycy spodziewają się, że do 2020 roku cały świat wejdzie w fazę rozkwitu usług internetowych. Internet opanuje handel i banki. Pojawią się w nim supermarkety, wirtualne

⁵⁴ “Fortune”, 9 lipca 1996, s. 46.

⁵⁵ *The Computer in the 21st Century*. Scientific American Books, Nowy Jork 1995, s. 4-5; Nathaniel Hawthorne: *Dom o siedmiu szczytach*. Tłum. Bronisława Bałutowa. Czytelnik, Warszawa 1982, s. 288.

uniwersytety i szkoły, cyberbiblioteki itd. Powszechnym elementem tej sieci staną się "inteligentni agenci" zdolni odpowiedzieć na każde nasze pytanie prostym, zrozumiałym językiem. Ale proroctwo Hawthorne'a spełni się dopiero w latach 2020-2050, kiedy w Sieci pojawią się programy wykorzystujące sztuczną inteligencję, AI (*Artificial Intelligence*), które będą samodzielnie rozumować, posługiwać się zdrowym rozsądkiem i rozpoznawać mowę. Niektórzy twierdzą, że w owej czwartej fazie będziemy mogli porozumiewać się z Internetem jak z istotą rozumną. Kontakt z Internetem zacznie przypominać rozmowę z baśniowym czarodziejskim zwierciadłem. Zamiast wydawać przeglądarce polecenia w postaci tajemniczych kodów i symboli i otrzymywać pięćdziesiąt tysięcy nieprzydatnych odpowiedzi, będziemy mogli skorzystać z potężnej wiedzy zgromadzonej na całym świecie, zagadując po prostu do ekranu umieszczonego na ścianie lub do spinki krawata. To czarodziejskie zwierciadło, obdarzone zdolnością rozumowania i wnioskowania, a także, prawdopodobnie, ludzką twarzą i własną, odrębną osobowością, może stać się naszym doradcą, powiernikiem, asystentem, sekretarką i gońcem jednocześnie.

Zdaniem jednego z analityków komputerowych, świat przyszłości będzie przypominał filmy Disneya - martwe przedmioty ożyją, będą porozumiewać się ze sobą i rozmawiać z ludźmi tak jak mówiący czajnik, pani Potts, w filmie *Piękna i bestia*.

Gdzie podzieli się policjanci?

Dzisiejszym użytkownikom komputerów, pomstującym na chaos panujący w Internecie, perspektywa prowadzenia wzbogacających i odkrywczych rozmów z jakimś czarodziejskim zwierciadłem wydaje się dość odległa. Prozaiczna rzeczywistość dzisiejszego Internetu w niczym nie przypomina obiecanej przez Hawthorne'a "inteligentnej planety".

Każdy nowicjusz po raz pierwszy podróżujący po Sieci dość szybko zaczyna się irytować, nie dostrzegając w tym systemie najmniejszych śladów inteligencji. Co gorsza, nie ma tu żadnych reguł, żadnych rozporządzeń, żadnej policji, która kierowałaby internetowym ruchem. Ba, Internet nie ma nawet czegoś w rodzaju książki telefonicznej czy katalogu. Niektórzy entuzjaści Internetu są tym zachwyceni i twierdzą, że to jest właśnie pełna demokracja w swojej najwyższej i najczystszej postaci. Inni stukają w klawiaturę, szukając odpowiedzi na konkretne pytania, lecz zniechęceni brakiem efektów, zaprzestają w końcu poszukiwań.

Młodzi informatycy, którzy postanowili wypełnić tę próżnię, tworząc proste katalogi dla Internetu, błyskawicznie zdobyli bajeczne fortuny.⁵⁶ Wartość majątku Jima Clarka, współzałożyciela Netscape'a, zwiększyła się o pół miliarda dolarów w dniu, w którym firma ta weszła na giełdę. (Clark stał się miliarderem w ciągu 18 miesięcy od chwili założenia swojej firmy; współzałożycielowi Microsoftu, Billowi Gatesowi, zabrało to 12 lat).⁵⁷ "Wejście Netscape'a na rynek papierów wartościowych było największym sukcesem od czasu, kiedy Bóg sprywatyzował Ziemię" - napisał reporter "New York Daily News".

⁵⁶ W 1996 roku twórcy programu *Yahoo!*, Jeny Yang, 27 lat, oraz Da-vid Filo, 30 lat, w dniu, w którym ich firma weszła na giełdę, stali się bogatsi o 132 miliony dolarów, mimo że nie osiągnęli jeszcze ani centa zysku ("USA Weekend", 10-12 maja 1996, s. 4).

Dlaczego Internet, system, który otwiera drogę ku "inteligentnej planecie", przybrał tak dziwną postać i nie został wyposażony w inteligencję?

Wiele dzisiejszych elektronicznych cudów techniki - wideokonferencje, wirtualna rzeczywistość, satelitarny system lokalizacji i sam Internet - powstało w kompletnej tajemnicy, w tajnych laboratoriach Pentagonu. Niektórzy analitycy sądzą, że obsesyjne utajnianie wszystkich informacji w czasach zimnej wojny opóźniło rewolucję komputerową o kilkanaście lat i doprowadziło do osobliwej ewolucji tych technologii. Pozostały dziwne luki, które obecnie są wypełniane przez twórców oprogramowania.

Dopiero po zakończeniu zimnej wojny, czyli w ostatniej dekadzie, technologie te stały się powszechnie dostępne. Uwolnione spod kontroli wojskowych, zaczęły się normalnie rozwijać i przyciągać powszechną uwagę. Przyczyniły się do powstania nowych gałęzi gospodarki o obrotach sięgających miliardów dolarów i zapoczątkowały nasz marsz ku XXI wiekowi.

Z historii tej możemy wyciągnąć wniosek następujący: nauka i technika najlepiej rozwijają się w atmosferze wolności, kiedy uczeni i inżynierowie mogą bez przeszkód kontaktować się ze sobą.

Skąd się wzięł Internet i inne technologie?

W styczniu 1977 roku zdarzył się w Białym Domu dziwaczny wypadek, który rzuca nieco światła na okoliczności, w jakich narodził się Internet. Zdarzenie to można by uznać za zabawne, gdyby jego ewentualne konsekwencje nie były tak poważne.

Niemalże jak w scenie z filmu *Dr Strangelou*, młody oficer składał raport doradcy prezydenta Jimmy'ego Cartera ds. bezpieczeństwa państwa, Zbigniewowi Brzezińskiemu. Raport dotyczył ochrony przywódców państwa w razie konfliktu nuklearnego na skalę światową. Według planu, na trawnikach przed Białym Domem, na Kapitolu i obok Pentagonu miały wylądować helikoptery, by bez zwłoki zabrać prezydenta i jego doradców do starannie ukrytych miejsc, między innymi do schronów przeciwiądrowych w Culpeper, w stanie Wirginia.

Nagle Brzeziński przerwał oficerowi i zażądał natychmiast całkowitej ewakuacji.

- Teraz? - z niedowierzaniem zapytał oficer.
- Tak, teraz! - warknął Brzeziński.

"Nieszczęśnikowi [...] oczy niemal wyszły na wierzch - opowiadał potem Brzeziński - rozglądał się oniemiały [...], sięgnął po telefon i, jękając się, zażądał natychmiastowego przysłania helikoptera w celu przeciwwiczenia ewakuacji".⁵⁸

Po wielu godzinach udręki, po serii żenujących wpadek i upokarzających niepowodzeń, helikopter z Brzezińskim na pokładzie powrócił do Waszyngtonu.

Ale to jeszcze nie koniec całej historii. Ochrona Białego Domu, widząc podchodzący do lądowania nieznany helikopter, natychmiast zarządziła stan pogotowia. Strzelcy ustawili się na stanowiskach, gotowi w każdej chwili zestrzelić helikopter z Brzezińskim na pokładzie.

⁵⁷ "Business Week", 15 lipca 1996, s. 63.

⁵⁸ Michio Kaku, Daniel Axelrod: *To Win a Nuclear War*. South End Press, Boston 1987, s. 200.

Całkowite niepowodzenie akcji przywołało przedstawicieli Pentagonu do rzeczywistości. Dostrzeżono ogromne braki w mocarstwowych planach wygrania wojny jądrowej.

Agencja Zaawansowanych Projektów Badawczych (Advanced Research Projects Agency, ARPA) Pentagonu stawiała czoło wyzwaniu i zaproponowała bądź stworzenie nowych technik komputerowych, bądź udoskonalenie już istniejących. Mowa tu o takich technikach jak:

Telekonferencje. Do zadań Pentagonu należało zapewnienie przywódcom Stanów Zjednoczonych bezpieczeństwa podczas konfliktu zbrojnego. Podczas gdy reszta planety zmieniałaby się w radioaktywną pustynię, amerykańscy mężowie stanu byliby bezpiecznie ukryci w wysoko lecących samolotach lub w podziemnych, klimatyzowanych schronach i mogliby kierować kolejnymi uderzeniami jądrowymi. Planowano rozlokowanie pięciu najwyższych rangą urzędników państwowych (m.in. prezydenta, wiceprezydenta i szefa Połączonych Sztabów) w pięciu różnych miejscach: od pokładu *Air Force One*, do górskich sztolni i siedziby dowództwa SAC w Cheyenne, w stanie Wyoming. Telewizja i komputery miały zapewnić ustawiczną łączność między nimi. W ten sposób narodziła się idea telekonferencji.

Wirtualna rzeczywistość. Zgodnie z planami Pentagonu piloci odrzutowców i bombowców mieli dawać sobie radę nawet w najbardziej nieprzewidzianych warunkach i nieprzyjaznym otoczeniu, na przykład podczas potężnych huraganów wzniesionych przez wybuchy jądrowe. Wtedy właśnie powstały symulatory lotu. Był to początek wirtualnej rzeczywistości. Pilot mógł obserwować i kontrolować symulowane komputerowo obrazy, siedząc w fotelu, na ziemi, z goglami na oczach i joystickami w rękach. W goglach widać było wygenerowane przez komputer obrazy z prawdopodobnego pola walki.

Jeszcze łatwiejsze do przeprowadzenia były symulacje działania czołgów i łodzi podwodnych, jako że obraz widziany przez okulary peryskopu niewiele różni się od widoków odtwarzanych w goglach. W 1968 roku skonstruowano na zamówienie Pentagonu pierwszy hełm symulacyjny. Od tego czasu prymitywne wersje wirtualnej rzeczywistości zaczęły pojawiać się w salonach gier zręcznościowych na terenie całych Stanów Zjednoczonych.

Satelity GPS. Aby amerykańskie pociski zawsze trafiały do celu, wystrzelono na orbitę serię satelitów, które, zawieszane nad Ziemią w różnych punktach, miały śledzić tor rakiet. Stało się to zaczątkiem globalnego systemu lokalizacji (GPS). System ten jest tak precyzyjny, że wystrzelona w USA międzykontynentalna rakiet balistyczna jest naprowadzana na cel znajdujący się w odległości kilkunastu tysięcy kilometrów z dokładnością do 100 metrów.

Dzięki temu systemowi Stany Zjednoczone mogłyby zniszczyć rakiety wroga znajdujące się jeszcze w silosach, łodzi podwodne na ich leżach, bombowce na lotniskach. Pentagon wiedział, że jest to broń, która daje szansę natychmiastowego pokonania przeciwnika.⁵⁹

Satelity GPS, będące elementem strategii pierwszego uderzenia, są teraz wykorzystywane do pilotowania samochodów osobowych opuszczających Detroit.

⁵⁹ Pentagon nazywał to "utrzymaniem zdolności do pierwszego uderzenia". Nie oznaczało to, że system miał być wykorzystany do zaatakowania przeciwnika, a jedynie, że groźba pierwszego ataku jest rzeczywiście wiarygodna.

E-mail. Technicy i naukowcy pracujący dla Pentagonu powinni być w stałym kontakcie zarówno w czasie wojny jądrowej, jak i po jej zakończeniu. Po zwycięstwie sieć łączności komputerowej miała pomóc w odbudowie obróconych w perzynę miast i zdeorganizowanej gospodarki. Naukowcy, którym udało się przeżyć, powinni mieć możliwość podłączenia się do linii telefonicznych i nawiązania łączności z innymi. Od tego zaczęłby się proces odbudowy współczesnej cywilizacji. Jako że większość miast już by nie istniała⁶⁰, przekaz powinien zostać podzielony na części, rozproszony w istniejących częściach systemu telekomunikacyjnego, a następnie, z kawałków, które dotarłyby różnymi drogami do miejsca przeznaczenia, poskładany w jedną całość. W Agencji Zaawansowanych Projektów Badawczych powstał pomysł, by wykorzystać do tego celu istniejący układ telekomunikacyjny,¹ tak zrodziła się poczta komputerowa, czyli e-mail.

Najważniejsza była szybkość. Pentagon obawiał się, że Związek Radziecki mógłby się podnieść z gruzów przed Stanami

Zjednoczonymi. Po wybuchu ostatniej zrzuconej głowicy jądrowej zaczęłby się nowy wyścig - kto pierwszy odbuduje swój kraj. Według tego scenariusza, z dwu półprzytomnych olbrzymów, którzy nawzajem powalili się na ring i z wolna odzyskują świadomość, zwycięzcą trzeciej wojny światowej zostałby ten, kto pierwszy stanie na nogi (po to, rzecz jasna, żeby wygrać czwartą wojnę światową). Tak więc Pentagonowi zależało na tym, by zapewnić naukowcom możliwość jak najszybszej odbudowy kraju, nie wstrzymywanej przez zbędne ograniczenia.

Stało się jasne, że sieć połączeń powinna istnieć i działać bez nadzoru. Biurokratyczne ograniczenia, cenzura i interwencje administracji mogłyby jedynie opóźnić odbudowę Ameryki i kraj zostałby wyprzedzony przez Związek Radziecki (w wyścigu o zwycięstwo w czwartej wojnie światowej!). Była to jedna z przyczyn rezygnacji z cenzury, reguł i zarządzeń nadzorujących pracę Internetu.

Zmodyfikowana sieć ARPANET miała pełnić funkcję łącznika pomiędzy uczonymi i uniwersytetami w całym kraju. Ostatecznie ARPANET stał się Internetem.

Ojciec wszystkich sieci

W 1844 roku Samuel Morse, przekazując za pomocą telegrafu, z Waszyngtonu do Baltimore, pierwsze, niezapomniane słowa: "Co Bóg uczynił?", zapoczątkował erę komunikacji elektronicznej. Mało kto natomiast zdawał sobie sprawę z powagi chwili, kiedy 21 listopada 1961 roku pół tuzina naukowców zgromadziło się w Boelter Hall, ośrodkiem obliczeniowym Uniwersytetu Kalifornijskiego w Los Angeles, aby połączyć uniwersytecki komputer z komputerem Instytutu Badawczego Uniwersytetu Stanforda, w pobliżu Palo Alto.

"Nie było przy tym fotografa i nawet nie przyszło nam do głowy, że powinien się tu znaleźć" -

⁶⁰ Na pomysł ten wpadł Paul Baran, imigrant ze Wschodniej Europy. Pragnął on stworzyć system telekomunikacyjny, który byłby niewrażliwy na zniszczenia spowodowane wojną jądrową. Również inni eksperci, zainteresowani jedynie cywilnymi zastosowaniami, mieli swój wkład w budowę ARPANETu. ("New York Times", 21 sierpnia 1996, New York Times Web Page. Zobacz również Katie Hafter, Mathew Lyon: *Where Wizards Stay Up Late*. Simon & Schuster, Nowy Jork 1996).

wspomina Steve Crocker, który w tym czasie był studentem.⁶¹ Nikt nawet nie pamięta, jak brzmiała pierwsza wiadomość przekazana pomiędzy dwoma odległymi komputerami.

Początkowo sieć ARPANET łączyła tylko cztery miejsca (Uniwersytet Kalifornijski w Los Angeles, Uniwersytet Kalifornijski w Santa Barbara, Uniwersytet Stanforda i Uniwersytet Utah). Rozwój ARPANET-u opóźniała tajna natura projektu oraz fakt, że komputery poszczególnych instytucji były niekompatybilne. Do 1971 roku sieć połączyła ze sobą około dwudziestu miejsc. W 1974 roku ARPANET rozrósł się do 62 komunikujących się ze sobą komputerów, a w roku 1981 liczba ta wzrosła do ponad 200. Dopiero w połowie lat osiemdziesiątych liczba połączonych w sieć uniwersytetów i laboratoriów osiągnęła "wartość krytyczną".

W 1990 roku uznano, że cele projektu zostały spełnione. Wraz z końcem zimnej wojny armia przekazała Narodowej Fundacji Nauki tajny dotychczas projekt. W ten sposób sieć ARPANET, wcześniej wykorzystywana wyłącznie przez fizyków i informatyków, stała się własnością publiczną.

Do 1994 roku dołączono do Internetu ponad 45 tysięcy pomniejszych sieci.⁶² Fizycy wprowadzili pewien porządek do tego zagmatwanego systemu, który od początku rozrastał się dziko, bez wyraźnych reguł. Po zakończeniu zimnej wojny nie było już powodów, by Internet rozwijał się w sposób niekontrolowany. W 1991 roku Tim Berners-Lee, matematyk z Ośrodka Badawczego Fizyki Wysokich Energii w Szwajcarii, stworzył World Wide Web, sieć, dzięki której w Internecie stały się dostępne multimedia. Podobnie jak ARPANET, który miał zapewnić łączność między fizykami i technikami w trakcie wojny nuklearnej i po jej zakończeniu, sieć WWW miała służyć przede wszystkim fizykom zajmującym się cząstkami elementarnymi. Dzięki niej mogli wymieniać i porządkować mnóstwo danych zbieranych podczas zderzeń strumieni wysokoenergetycznych cząstek w potężnych akceleratorach.

Fenomenalna szybkość rozrastania się Internetu, o 20% na kwartał, powoduje, że od 1988 roku co roku podwaja on niemal swoje zasoby.⁶³ Tempo rozwoju Internetu jest więc szybsze niż wynikające z prawa Moore'a tempo wzrostu mocy obliczeniowej komputerów. Przy 10 milionach serwerów w 1997 roku Internet w pełni zasługuje na miano "ojca wszystkich sieci".⁶⁴ Jeśli dodamy również tych, którzy łączą się z serwerami ze swoich komputerów domowych lub biurowych, całkowita liczba użytkowników Internetu na świecie wzrośnie do około 40 milionów.

Vinton Cerf, jeden z pionierów Internetu, przewiduje, że jeśli utrzyma się obecne tempo rozwoju, w 2000 roku z Internetu korzystać będzie 160 milionów osób. Natomiast Nicholas Negroponte optymistycznie szacuje, że na początku XXI wieku liczba poruszających się po Sieci osiągnie miliard. Nie ulega wątpliwości, że kryje się za tym olbrzymi potencjał gospodarczy.⁶⁵ W 1995 roku fabryki opuściło 65 milionów komputerów, w 1996 jedna trzecia wszystkich gospodarstw domowych w USA miała komputer, a 10-15% miało również dostęp do Sieci.

Jakie rozmiary osiągnie Internet? "Śmiem twierdzić, że w 2005 roku Internet będzie równie

⁶¹ "Newsweek", 8 sierpnia 1996, s. 57.

⁶² Nicholas Negroponte: *Being Digital* Alfred A. Knopf, Nowy Jork 1995, s. 181.

⁶³ *Ibidem*, s. 182.

⁶⁴ "Washington Post Magazine", 4 sierpnia 1996, s. 26.

⁶⁵ "Wall Street Journal", 17 czerwca 1996, s. R28.

rozbudowany, jak obecny system łączności telefonicznej" - mówi Cerf.⁶⁶ (Na świecie zainstalowanych jest teraz około 600 milionów telefonów).

Decyzje podjęte przez Federalną Komisję Środków Przekazu w 1996 roku otworzyły drogę do połączenia telewizji i Internetu. Zważywszy, że obecnie w 99% domów w USA znajdują się odbiorniki TV (liczba domów, w których nie ma telewizora, jest mniejsza od liczby domów, w których nie ma telefonu, łazienki czy komputera), rzeczywiście jest możliwe, że na początku następnego wieku 99% populacji będzie miało dostęp do Internetu.

Zasoby informacji dostępnych w Internecie również rosną z błyskawiczną szybkością. W 1996 roku Internet zawierał około 70 milionów stron.⁶⁷ Przypuszcza się, że w 2020 roku w Internecie będzie zawarta cała ludzka wiedza i wszystkie doświadczenia mieszkańców planety o nazwie Ziemia, gromadzone przez 5 tysięcy lat pisanej historii.

Historyczne znaczenie Internetu

Futurologi uważają jednak, że Internet to dopiero początek naszej wyprawy. Przypomina on polną dróżkę, która doprowadzi do szerokiej autostrady informacyjnej XXI wieku. Denerwujące wielu użytkowników "korki graficzne", które zdarzają się w Internecie, będą stopniowo likwidowane. (Na przykład w 1996 roku stacja przełączająca w San Jose niemal się zablokowała. ⁶⁸Ruch w Internecie był tak olbrzymi, że przepływ danych z szybkością 95 megabitów na sekundę osiągnął niemal granicę wytrzymałości systemu, którego najwyższa przepustowość wynosi 100 megabitów na sekundę).

Wiceprezydent Al Gore uważa, że Internet zostanie zastąpiony Narodową Siecią Badań i Edukacji (National Research and Education Network, NREN), która będzie 100 razy szybsza od Internetu. Koszt jej budowy - która potrwa pięć lat i będzie finansowana z funduszy federalnych - szacowany jest na 390 miliardów dolarów.⁶⁹

Skutki powstania Internetu można porównać do konsekwencji wynalezienia czcionki drukarskiej przez Gutenberga w połowie XV wieku. Dzięki temu wynalazkowi w Europie wzrosła liczba książek. (Chiny i Korea dysponowały już własną wersją druku). Przed Gutenbergiem w całej Europie było około 30 tysięcy książek. Umiejętność czytania oraz same książki stanowiły luksus dostępny jedynie dla wąskiej, wykształconej elity, która zazdrośnie strzegła swego cennego skarbu. Do 1500 roku w Europie wydrukowano ponad 9 milionów książek. Towarzyszył temu ferment intelektualny, którego kulminacją było Odrodzenie.

Niektórzy jednak twierdzą, że Internet będzie tylko chwilową modą, gdyż ludziom znudzi się w końcu przedzieranie przez zwały cyberśmieci. Internet podzieli los wideo telefonu, sensacji Wystawy Światowej w Nowym Jorku w 1964 roku. Milionom zwiedzających wystawę wmawiano, że zwykły telefon stanie się wkrótce rekwizytem muzealnym. Ludzie rzucają się na wideotelefony. W latach sześćdziesiątych AT&T przeznaczył niewiarygodną sumę 500 milionów dolarów na

⁶⁶ *Ibidem*.

⁶⁷ "New York Times", 21 czerwca 1996, s. D6; "Wall Street Journal", 23 sierpnia 1996, s. B1.

⁶⁸ "Wall Street Journal", 23 sierpnia 1996, s. B1.

udoskonalenie tego urządzenia, a sprzedano tylko kilkaset sztuk (co oznacza, że w istocie na każdy aparat wydano około miliona dolarów!). Była to jedna z największych porażek w historii telekomunikacji.⁷⁰

W czym tkwił błąd? Oczywiście, było sporo problemów technicznych. W owym czasie linie telefoniczne i komputery nie nadawały się jeszcze do przesyłania wysokiej jakości obrazów wideo. W grę wchodził jednak i czynnik ludzki. Większość z nas nie chciałaby być widziana podczas rozmowy telefonicznej. "Czy naprawdę musisz się czesać za każdym razem, kiedy dzwoni telefon?" - kpił jakiś żartowniś. Musimy więc pamiętać, że arbitrem, do którego należy ostatnie słowo również w dziedzinie *high-tech*, jest zawsze potencjalny nabywca.

Najbardziej konsekwentnym krytykiem Internetu pozostaje Clifford Stoli, ekspert komputerowy, autor antymanifestu *Silicon Snake Oil [Krzemowe panaceum]*.⁷¹ Stoli wyśmiewa tych, którzy twierdzą, że pewnego dnia Internet zastąpi inne formy kontaktów międzyludzkich. "Doprawdy, niewiele aspektów codziennego życia wymaga komputerów, sieci cyfrowych czy totalnej łączności. Wszystkie te urządzenia nie mają nic wspólnego z gotowaniem, jazdą samochodem, składaniem wizyt, robieniem interesów, jedzeniem, spacerowaniem, tańcem, rozmową i plotkowaniem. Nie potrzebujemy klawiatury, żeby upiec chleb, poodbijać piłkę, zbudować mur z kamienia, powiedzieć wiersz czy pomodlić się".⁷²

Stoli przypomina również o innych przelotnych modach, takich jak radio CB. W latach siedemdziesiątych aparatów CB używało 25 milionów ludzi, ale w latach osiemdziesiątych nowinka się przeżyła, a rynek CB załamał.⁷³

Pomiędzy aparatami CB a Internetem jest jednak istotna różnica. Radio CB używane było zwykle po to, żeby uniknąć niespodziewanego spotkania z patrolami drogowymi i łączyło ludzi poruszających się po wybranych autostradach. Jego zasięg (kilka kilometrów) i liczba odbiorców (garstka kierowców na szosie, przed i za jadącym samochodem) były bardzo ograniczone. Radio CB nigdy nie doszło do etapu, w którym zaczyna obowiązywać "prawo oddawania z nawiązką" (mówiące, że im więcej ludzi czegoś używa, tym więcej osób chce tę rzecz mleć, przez co osiągnięty zostaje próg masy krytycznej i układ sam zaczyna się napędzać). Inaczej jest z Internetem. Jego zasięg to cała planeta, przedmiot zainteresowania - cała wiedza ludzkości, a odbiorcy - każdy, kto ma komputer i modem. Niedługo liczba użytkowników Internetu wzrośnie do setek milionów, jeśli nie do miliardów. A kiedy komputery staną się niewidzialne, będziemy mogli piec chleb, spacerować czy jechać samochodem, prowadząc jednocześnie dialog z czarodziejskim zwierciadłem.

Przed 2020 rokiem: jak Internet wkroczy w nasze życie?

Larry Tesler, główny specjalista w firmie Apple Computer i członek grupy, która stworzyła w

⁶⁹ *The Computer in the 21st Century*, s. 156.

⁷⁰ Steven Lubar: *Info Culture*. Houghton Mifflin, Boston 1993, s. 134.

⁷¹ Clifford Stoli, wywiad z autorem.

⁷² *Ibidem*. Również Clifford Stoli: *Silicon Snake Oil*. Doubleday, Nowy Jork 1995, s. 10.

⁷³ Lubar: *Info Culture*, s. 236.

Xeroksie komputer ALTO oraz oparte na grafice systemy operacyjne będące prekursorami Macintosha i Windows, zajmuje się obecnie prognozowaniem zmian, które zajdą w naszym życiu wraz z rozwojem Internetu.⁷⁴ Także i on nie szczędzi krytycznych uwag dzisiejszemu "zaśmieconemu" Internetowi, uważa jednak, że ma on więcej zalet niż wad. Najważniejsze jest to, twierdzi Tesler, że Internet zadomowił się już na dobre.⁷⁵

Tesler zgadza się z opinią Clifforda Stolla, który twierdzi, że tempo rozwoju Internetu stanie się powolniejsze, kiedy cała rzecz spowszednieje. Ale do tego czasu Internet stanie się nieodzowną częścią nowoczesnej cywilizacji, niezbędnym elementem biznesu, handlu, nauki, sztuki i rozrywki. Internet zmieni i wzbogaci nasze życie: będziemy mogli dzięki niemu pracować w domu, kontaktować się z ludźmi o podobnych zainteresowaniach i robić zakupy w cybersupermarkecie.⁷⁶ Biura podróży będą oferowały tysiące wycieczek. "Twój idealny przewodnik" - zachęca "Wall Street Journal".⁷⁷ Firmy brokerskie *on-line*, które obecnie obracają tylko jednym procentem kupowanych i sprzedawanych akcji, wyrosną jak grzyby po deszczu, jako że będą pobierać tylko jedną dziesiątą zwykłych opłat i zapewnią ustawiczną analizę rynku finansowego. "Strzeż się, Merrill Lynch" - ostrzega "Wall Street Journal".⁷⁸ Oferta księgarni *on-line* będzie obejmowała miliony książek, ekwiwalent kilku bibliotek.⁷⁹ W 2000 roku 15% zakupów artykułów spożywczych, o łącznej wartości 400 miliardów dolarów, będzie dokonywa-

9999994999

nych elektronicznie - twierdzi Mohsen Maozami ze Stowarzyszenia Kurta Salmona, firmy konsultingowej zajmującej się handlem detalicznym.⁸⁰ Przyszły kierunek rozwoju bankowości wskazuje Security First Network Bank w Pineville, w stanie Kentucky, który już dziś wszystkie swoje operacje prowadzi przez Internet.

"Stopniowo cały handel przeniesie się do sklepów *on-line* - stwierdza "Wall Street Journal". - Korzyści płynące z tej sytuacji będą niewiarygodne. Internetowe sklepy są czynne przez całą dobę i żaden z nich nie znajduje się w zbyt odległym miejscu. Kupcy, którzy wywiesili szyld w cyberprzestrzeni, nie muszą się martwić o powierzchnię półek sklepowych, a koszty prowadzonej przez nich reklamy są minimalne. W przyszłości sklepowe magazyny będą nieporównywalnie większe od wszystkiego, co można skonstruować za pomocą cegieł i zaprawy".⁸¹

Internet zaoferuje także klientom "zaspokajanie indywidualnego gustu na masową skalę". Będzie można wybrać sobie według życzenia pewien model lub wzór i przelać swoje żądania do

⁷⁴ Członkiem tej grupy był także Alan Kay. Wiele tych innowacji powstało w jego bogatej wyobraźni.

⁷⁵ Larry Tesler, wywiad z autorem.

⁷⁶ *Ibidem*

⁷⁷ "Wall Street Journal", 17 czerwca 1996, s. R6. Ponieważ aż 20% tzw. wydatków operacyjnych przeznaczane jest na koszty dystrybucji (działalność biur podróży oraz systemów komputerowej rezerwacji miejsc), linie lotnicze zainteresowane są umieszczaniem systemów rezerwacji w Internecie, zwłaszcza w celu sprzedaży nie wykorzystanych miejsc.

⁷⁸ "Wall Street Journal", 17 czerwca 1996, s. R8.

⁷⁹ Działająca *on-line* księgarnia Amazon.com Inc oferuje olbrzymią liczbę tytułów, rzędu miliona. "Taka liczba książek nie pomieściłaby się w żadnej normalnej księgarni. Nie można też przedstawić oferty w postaci katalogu. Musiałby on mieć objętość siedem razy większą niż książka telefoniczna Manhattanu" - twierdzi Jeffrey Bezos, dyrektor firmy. "Wall Street Journal", 6 czerwca 1996, s. R6.

⁸⁰ "Wall Street Journal", 17 czerwca 1996, s. R10.

⁸¹ *Ibidem*, s. R6.

fabryki, która od ręki zrobi produkt zgodny z oczekiwaniami klienta. Firma Technology/Clothing Technology już teraz wyasygnowała 8,5 miliona dolarów na skonstruowanie urządzenia, które pozwoliłoby w ciągu 2 sekund zeskanować trójwymiarową geometrię ciała.⁸² Klient nakłada cieniotki, idealnie przylegający do skóry kombinezon, a skaner przy użyciu sześciu projektorów i sześciu kamer wideo fotografuje poziome linie, którymi pokryty jest ubiór. Następnie komputer oblicza dokładne parametry trójwymiarowych krzywych pokrywających ciało klienta na szablonie. Potem nabywca wybiera daną część garderoby, a komputer wysyła pomiary kształtów ciała klienta do fabryki, gdzie informacje te wprowadza się bezpośrednio do maszyny krojącej.

Wąskie gardła Internetu

Wizja rozwoju Internetu zapiera wprost dech w piersiach, lecz jednocześnie jest to droga pełna wybojów, kolein i niewygodnych objazdów. Żeby uczynić zadość wymaganiom autostrady informacyjnej, do 2020 roku trzeba rozwiązać kilka fundamentalnych problemów: zwiększyć przepustowość, zaprojektować lepsze interfejsy użytkownika oraz stworzyć filtry i urządzenia pozwalające na spełnianie indywidualnych życzeń.

Bill Gates, dyrektor firmy Microsoft, za najważniejszą przeszkodę w rozwoju Internetu uważa ograniczenia przepustowości.⁸³ Przepustowość odpowiada mniej więcej ilości informacji (czyli bitów) przesyłanych w ciągu sekundy. Uznany standardem przepustowości są 4 gigabity na sekundę. Jest to ilość informacji odpowiadająca pełnometrażowemu filmowi wideo.

Pytanie wywołujące gorączkowe spekulacje na Wall Street brzmi: jakie medium nadaje się najlepiej do tego, aby przesyłać do pojedynczego odbiorcy 4 gigabity informacji w możliwie najkrótszym czasie?

Niemal każdy użytkownik Sieci zna uczucie straty czasu, którego doświadczamy, czekając na pojawienie się obrazka na ekranie. Nawet przy szybkim modemie pozwalającym na transmisję 28,8 kilobitów na sekundę czas oczekiwania wynosi od 15 do 30 sekund. (Przy łączu ISDN, przy szybkości transmisji 144 kilobitów, czas ten może zostać skrócony do około 1 sekundy⁸⁴). Projekcja filmu wymaga wyświetlania 30 obrazów na sekundę, transmisja powinna zatem przebiegać z szybkością o wiele większą niż ta, którą obecnie zapewnia najszybszy typ modemu. Przy przeważającym obecnie w Internecie łączu telefonicznym, sygnał analogowy przesyłany jest z szybkością 64 tysięcy bitów na sekundę. Przesłanie "po drutach" w tym ślimaczym tempie *Milczenia owiec* zajęłoby ponad 100 godzin.

Właśnie ze względu na to ograniczenie sądzono, że obrazów wideo nigdy nie będzie można przesyłać zwykłymi przewodami miedzioowymi, jakich używają przedsiębiorstwa telekomunikacyjne. Jednakże jeśli sygnał zostanie przekazany jako sygnał cyfrowy, będzie go można poddać kompresji. Kompresja powoduje co prawda niewielką utratę informacji, ale wielokrotnie zwiększa

⁸² "New York Times", 19 lutego 1996, s. C3.

⁸³ "Fortune", 9 lipca 1996, s. 46.

⁸⁴ ISDN jest akronimem *integrated services digital network*. Baud jest miarą szybkości przekazywania informacji równą 1 bitowi w ciągu sekundy. Nazwa pochodzi od nazwiska francuskiego wynalazcy, Emile Baudota. Sygnał ISDN o szybkości transmisji 144 kilobaudów może składać się z dwóch sygnałów po 64 kilobaudów.

szybkość transmisji.

Do przesyłania sygnałów można też używać satelitów telekomunikacyjnych i linii przesyłowych telewizji kablowej. Każde z tych rozwiązań ma swoje dobre i złe strony. Jeśli zdecydujemy się na satelitarne przekazywanie sygnału z przestrzeni kosmicznej, nie będziemy musieli wydawać miliardów dolarów na kładzenie milionów kilometrów przewodów. Wadą tego rozwiązania jest to, że wymaga ono umieszczenia na orbicie setek satelitów komunikacyjnych, których sygnał musi docierać w każdej chwili do wszystkich części planety. Jeśli chodzi o kable TV, to są one sprawdzone, bo już teraz płyną po nich z dużą szybkością obrazy telewizyjne i wideo. Telewizja kablowa oferuje szybki dostęp do Internetu przy wykorzystaniu tych samych kabli. Jednakże i to rozwiązanie ma swoje słabe strony. Wymaga, na przykład, zainstalowania dość gęsto rozmieszczonych kosztownych wzmacniaczy, pozwalających przesyłać sygnał na duże odległości.

W przyszłości polna droga Internetu, wiodąca wzdłuż miedzianych przewodów, przekształci się w informatyczną autostradę, która będzie prawdopodobnie obsługiwana przez lasery i światłowody. Lasery to bardzo dokładne przyrządy, działające według praw mechaniki kwantowej. Laser wytwarza spójną wiązkę światła (co oznacza, że wszystkie fotony tej wiązki "drgają" z tą samą fazą). Tę egzotyczną formę światła, której nie obserwuje się w procesach przebiegających w naturze, można otrzymać, zmuszając elektrony do kwantowych przeskoków pomiędzy poziomami energetycznymi w atomach.

Wiązka światła wędrująca cienkim szklanym przewodem jest uwięziona w jego wnętrzu i nie wymyka się na zewnątrz, nawet jeśli światłowód jest pozwijany w kółko. Światło po prostu odbija się od wewnętrznych powierzchni światłowodu - jest to zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia. (Ten sam efekt wykorzystano przy pokazach świetlnych fontann wodnych m.in. we Włoszech. Jeśli silne źródła światła umieszczone są na dnie fontanny, światło bijące w niebo zostaje uwięzione w strumieniach wody, wywołując złudzenie, że woda płonie).

Ponieważ wiązka światła laserowego może przenosić od dziesięciu do stu razy więcej informacji niż przewody miedziane, w Internecie zacznie przeważać ten właśnie sposób transmisji. Na przykład częstość czerwonego światła z lasera helowo-neonowego wynosi około 10 bilionów cykli na sekundę (10^{12} Hz). Im większa częstość, tym więcej informacji może nieść sygnał.

Ponadto, jeśli chodzi o przeciążenia i zatory, istnieje zasadnicza różnica pomiędzy zwykłymi autostradami a Internetem. Im więcej buduje się autostrad, tym więcej zabierają one przestrzeni, zajmując cenne tereny, które mogłyby zostać wykorzystane w inny sposób. Jest to jedna z przyczyn protestów przeciw budowie autostrad. Natomiast Internet, jak wskazuje Tesler, nie ma ograniczeń. Można zawsze zwiększyć liczbę światłowodów i szybkość przekaźników, poszerzyć pasmo przenoszenia (przepustowość), stosując lepsze lasery. Za pomocą Internetu można przekazać każdy rodzaj informacji. W istocie jedynym fizycznym ograniczeniem rozwoju techniki światłowodowej jest zbyt mała przepustowość przekaźników i przewodów na końcach falowodu, czyli u odbiorcy.

Produkowane są już światłowody zdolne do przenoszenia astronomicznej liczby 100 miliardów

bitów na sekundę. Oznacza to, że wszystkie informacje zawarte w *Encyclopaedia Britannica* mogą być przesłane wzdłuż szklanej nitki jednym, trwającym ułamek sekundy błyskiem światła. Wydaje się, że jest to szczyt możliwości obecnych technologii. Szybkość światłowodowego przekazu jest tak wielka, że standardowe przekaźniki elektroniczne nie potrafią poradzić sobie z tym tempem przepływu informacji. Dlatego też w przyszłości przełączniki i inne elementy sieci będą wytwarzane za pomocą techniki laserowej i nowoczesnych technik optycznych.

Już teraz tysiące kilometrów przewodów miedzianych zastąpiono wiotkimi, elastycznymi światłowodami ze szkła, zdolnymi do przenoszenia milionów komunikatów. Przemysł kabli światłowodowych, którego obroty sięgają 6 miliardów dolarów, odnotowuje zadziwiająco szybki wzrost, sięgający 20% rocznie. Łączna długość założonych (w USA) światłowodów podwoiła się od roku 1993 i w 1996 roku osiągnęła ponad 26 milionów kilometrów.⁸⁵ W przeciwieństwie do mikroprocesora, który prawdopodobnie zostanie wyparty przez jakiś nowy wynalazek przed rokiem 2020, laser wydaje się urządzeniem o nieograniczonych możliwościach, jeśli pominąć prymitywne urządzenia, w które obecnie światłowód jest wyposażony na obu swoich końcach.

Drugą przeszkodą do stworzenia inteligentnej planety jest problem interfejsu pomiędzy ludzkim głosem a ekranem. Aby Internet mógł przekształcić się w prawdziwe czarodziejskie zwierciadło, musimy mieć cyfrowe telewizory - ekrany ściennie wysokiej rozdzielczości - oraz jakiś inteligentny system informacji, rozumiejący ludzką mowę i obdarzony zdrowym rozsądkiem.

Fuzja Internetu i telewizji

W przyszłości potentaci komputerowi i telewizyjni będą toczyć ze sobą zawziętą walkę o władzę nad rynkiem mediów elektronicznych. Jako że w 99% amerykańskich domów jest przynajmniej jeden telewizor, panuje powszechne przekonanie, że rozwój Internetu zależy w końcowym rozrachunku od jego połączenia się z telewizją.

Po trwających dziesięć lat sporach doszło wreszcie pod koniec 1996 roku do długo oczekiwanego porozumienia, które wpłynie na kształt komunikacji elektronicznej w przyszłym wieku. Porozumienie to obwołano najważniejszym wydarzeniem ostatnich dwu dziesięcioleci. "Niektórzy twierdzą, że czeka nas przeskok podobny do tego, jakim było przejście od telewizji czarno-białej do kolorowej. Ja sądzę jednak, że będzie to zmiana o bardziej zasadniczym charakterze, przypominająca raczej przejście od radia do TV" - mówi Gary Shapiro, przewodniczący Stowarzyszenia Producentów Elektroniki Użytkowej.

Federalna Komisja Łączności (FCC) oraz przedstawiciele przemysłu telewizyjnego i komputerowego uzgodnili, że standardowym modelem transmisji stanie się przekaz cyfrowy. Telewizja i komputery połączą się ze sobą, dzięki czemu powstanie telewizja interaktywna.

Dotychczas obrazy telewizyjne w USA rysowała wiązka elektronów wysyłanych przez katodę lampy elektronowej, kineskopu. Taka wiązka elektronów przeczesywała ekran wzdłuż 525 poziomych linii i wytwarzała 30 obrazów na sekundę. Sygnał był podawany w postaci analogowej

⁸⁵ "New York Times", 4 listopada 1994, s. D5.

na elektrody odchylające wiązkę, tzn. w formie ciągłej fali (sygnału prądowego), którą trudno jest modyfikować. (Większość fal, z którymi mamy do czynienia na co dzień - dźwięk, światło, fale radiowe i telewizyjne - to sygnały analogowe. Kiedy się je wzmacnia, wzmocnieniu ulega również statyczne tło i następuje utrata informacji. To dlatego właśnie rozmowom telefonicznym na dalekie odległości towarzyszy szum; sygnał musi być wielokrotnie wzmacniany).

Zgodnie z nowo zawartym porozumieniem wszystko to ma się zmienić. Cyfrowa telewizja przyszłości będzie miała dwukrotnie większą rozdzielczość (1080 linii na ekran, co dorównuje niemal jakości zdjęcia uzyskanego z negatywu 35 mm). Powstanie szerokoekranowy odbiornik telewizyjny.

(Kluczowe w tym wszystkim jest słowo "cyfrowy". Kiedy sygnał binarny przesyłany jest w postaci pakietów zer i jedynek, można go poddawać obróbce na tysiące sposobów, oczyszczać z szumów lub modyfikować. Programy wyłapujące i usuwające usterki zapewniają niemal bezbłędną transmisję, eliminując występujące w zwykłej telewizji zniekształcenia i szumy. Sygnał taki zawsze daje doskonały obraz, wolny od efektów interferencyjnych, bez względu na odległość przesyłania. Sygnał transmitowany przez pół świata jest równie czysty, jak wysłany zza miedzy. Można również wzmacniać i powiększać sygnały i obrazy, tak jak to się robi obecnie z niewyraźnymi obrazami przesyłanymi z przestrzeni kosmicznej przez satelity NASA. Sygnał taki daje się również podzielić na części, przeto może być używany do przesyłania stron WWW, notowań giełdowych i programów telewizyjnych).

Pierwsze modele tych urządzeń komputerowo-telewizyjnych pojawiły się już w handlu. W 1997 roku FCC zdecydowała, że telewizja analogowa przestanie istnieć przed 2006 rokiem. Klienci nie będą mieli innego wyboru, jak kupić cyfrowy odbiornik lub konwerter. Zwykłe odbiorniki telewizyjne, sprzedawane dziś w większości sklepów, będą nadawać się tylko do muzeum.

Cyfrowe odbiorniki telewizyjne będą miały zamontowaną skrzynkę umożliwiającą połączenie z Internetem - cyfrowa telewizja stanie się zatem interaktywna. Zamiast biernie wpatrywać się w ekran, widz przyszłości będzie mógł wziąć udział w Programie.

Już teraz sześć największych firm zajmujących się sprzedażą telewizorów oferuje aparaty łączące się z Internetem.⁸⁶ Rick Doherty z Grupy Prognoz przewiduje, że do 2002 roku jedna trzecia gospodarstw domowych w USA będzie wyposażona w tego typu odbiorniki. Kiedy transmisja cyfrowa zastąpi analogową, Internet stanie się elementem życia 99% populacji amerykańskiej.

Niewykluczone, że jeszcze przed 2010 rokiem także szeroki ekran telewizji cyfrowej stanie się przeżytkiem i pojawi się nowa generacja cienkich jak tapeta ekranów ściennych.

Ekran na ścianie

Kolejną konsekwencją prawa Moore'a będzie to, że ekrany telewizyjne i monitory komputerów staną się tak płaskie, że da się je zawiesić na ścianie jak obraz, lub tak małe, że zmieszczą się w

⁸⁶ "Time", 12 sierpnia 1996, s. 43.

zegarku.

Obecnie dwie trzecie wszystkich dostępnych na rynku monitorów komputerowych wyposażonych jest w kineskop, urządzenie, bez którego nie mógłby nigdy działać żaden telewizor. Kineskop to duża bańka szklana, w której środku znajduje się działo elektronowe. Wysyła ono kilka strumieni elektronów w kierunku fosforyzującego ekranu. Miejsce, na które pada wiązka, zaczyna świecić. (Lampy odbiorników kolorowych wysyłają trzy wiązki, po jednej dla każdego z podstawowych kolorów: czerwonego, niebieskiego i zielonego. Mieszając je ze sobą, można otrzymać dowolną inną barwę). Zaletą kineskopu jest wytwarzanie obrazu wysokiej jakości. Ponieważ wiązki elektronów muszą poruszać się w próżni, kineskop jest zawsze duży i ciężki i niełatwo go przemieścić.

Kineskopy zostaną ostatecznie wyparte albo przez wyświetlacze ciekłokrystaliczne (*Liquid Crystal Displays, LCD*), albo przez ekrany plazmowe. Wyświetlacze LCD zawierają pewne szczególne substancje, zwane ciekłymi kryształami, które zachowują się jak ciecze, ale ich cząsteczki układają się jak w normalnych kryształach. Ciekłe kryształy znane są od ponad stu lat. Są to substancje występujące dość powszechnie, znajdujące się w błonach komórkowych oraz bankach mydlanych. Zwykle wyświetlacze LCD są przezroczyste. Jeśli jednak przepuścimy przez nie niewielki prąd elektryczny, w miejscu przewodzenia prądu stają się mętne. Kontrolując lokalnie przepływ prądu przez ciekły kryształ, możemy wyświetlać na ekranie litery.

Chociaż wyświetlacze ciekłokrystaliczne są tanie, nieduże i zużywają mało energii, i one miały swoją piętę achillesową. Same wyświetlacze nie wytwarzają światła, toteż trudno je odczytać przy niewystarczającym oświetleniu. Problem ten jednak został rozwiązany w najbardziej zaawansowanych wyświetlaczach LCD, nazywanych aktywną matrycą. Można na niej otrzymać doskonałe obrazy, ponieważ każdy piksel na ekranie ma swój cienkowiekowy tranzystor. Postępy w miniaturyzacji tranzystorów są tak wielkie, że każdy punkt na ekranie monitora odpowiada jednemu tranzystorowi.

Dostępne już w handlu ekrany typu aktywna matryca w najbliższych latach zdominują rynek monitorów. Skonstruowano już ekrany 22-calowe, czyli większe niż standardowy, 17-calowy ekran monitora komputerowego (liczby te oznaczają długość przekątnej ekranu).

Masowa produkcja tranzystorów i związane z nią zmniejszenie się kosztów wytwarzania tych elementów powodują, że ceny płaskich wyświetlaczy gwałtownie spadają. Inżynierowie ze Stanford Resources w Dolinie Krzemowej przewidują, że do 2000 roku sprzedaż ekranów tego typu przewyższy sprzedaż kineskopów.⁸⁷ "Po raz pierwszy możemy sobie wyobrazić koniec ery kineskopu w monitorze" - twierdzi Carry Lu, ekspert komputerowy.⁸⁸

Następcą kineskopu lampowego może się też stać ekran plazmowy, w którym stosuje się tysiące małych komórek gazowych zawierających mieszaninę zjonizowanego neonu i ksenonu, czyli gazów, których atomy wysyłają światło o różnej barwie i intensywności. Ekrany plazmowe

⁸⁷ "New York Times", 20 maja 1996, s. D7.

⁸⁸ *Ibidem*.

można przyrównać do skupiska tysięcy miniaturowych neonówek, mniejszych od główki szpilki. Do zalet tych ekranów należą ich pokaźne rozmiary. Ekran 60-calowy, który może służyć jako ekran ścienny, powstaje już w pracowniach planistów. Wadą tej technologii jest °. że ekrany zużywają sporo energii i dają zamglony obraz.

Przypuszcza się, że do 2003 roku wartość sprzedaży wyświetlaczy ciekłokrystalicznych osiągnie 19,23 miliarda dolarów, a plazmowych 11 miliardów.⁸⁹

Jeszcze przed 2020 rokiem pojawią się najrozmaitsze rodzaje płaskich paneli wyświetlających. Niektóre z nich będą tak małe, że da się je przymocować do zegarka, okularów czy kluczyków samochodowych. W końcu staną się tak tanie, że pojawią się wszędzie: na oparciach foteli w samolocie, w albumach fotograficznych, w windach, w notatnikach, na tablicach ogłoszeniowych, na autobusach i tramwajach. Będą równie powszechne, jak papier.

Rozpoznawanie mowy

Postacie z baśni nie porozumiewają się z czarodziejskim zwierciadłem za pomocą klawiatury - one do niego po prostu mówią. Dzisiejsze komputery nie potrafią jeszcze rozpoznawać ludzkiej mowy. Odnotowano jednak znaczny postęp w konstruowaniu komputerów, którym można dyktować tekst. Głównym problemem pozostaje wszakże fakt, że maszyny te mogą co prawda rozpoznawać poszczególne słowa, ale zupełnie nie rozumieją, co się do nich mówi.

W zasadzie rozpoznawanie głosu powinno być prostym zadaniem. W zwykłych rozmowach posługujemy się mniej więcej dwoma tysiącami słów. Od wykształconej osoby można oczekiwać znajomości 10-20 tysięcy słów. Słownik tej objętości nadzwyczaj łatwo wpisać na dysk komputera. Słowa, z kolei, można rozłożyć na fonemy, które już dawno temu zostały skatalogowane przez lingwistów.

Komputer może rozróżniać fonemy, przyporządkowując im dwie wielkości: częstość i intensywność dźwięku. Mierząc te dwa parametry, komputer otrzymuje "obraz dźwięku" odpowiadający danemu fonemowi. Wygląda to jak zbiór skaczących i wijących się linii. (Na przykład, im większe różnice pomiędzy wzniesieniami i spadkami takich oscylujących linii, tym większa głośność. Im szybsze oscylacje, tym wyższy głos).

Z efektem tym można zapoznać się w niektórych muzeach techniki - zwiedzający mówią do mikrofonu i obserwują migoczące fale własnego głosu wyświetlane na ekranie oscyloskopu.

Obecnie dostępne są na rynku programy, które rozpoznają dyktowany tekst z dokładnością sięgającą 95%.⁹⁰ Komputer, w którym zainstalowano typowy program tego rodzaju, potrafi rozróżnić 40 tysięcy słów w mowie osoby, której nigdy nie słyszał. Ale programy te nie są doskonałe. Należy mówić jakby z wahaniem, robiąc niewielkie przerwy między słowami, aby komputer mógł rozpoznać pojedyncze wyrazy. Większość ekspertów sądzi, że przed 2005 rokiem problemy te zostaną rozwiązane. Są to bowiem przeszkody natury czysto technicznej i aby je przezwyciężyć, trzeba jedynie zwiększyć moc obliczeniową komputerów.

⁸⁹ "New York Times", 10 lutego 1997, s. D5.

O wiele trudniejszym zadaniem jest zaprojektowanie maszyn, które nie tylko będą słyszały, co się do nich mówi, ale zrozumieją sens przekazu. Komputery mogą czytać i słuchać, ale nie potrafią pojąć, o co chodzi. Aby stworzyć prawdziwe czarodziejskie zwierciadło, należałoby udoskonalić sztuczną inteligencję. To najtrudniejsze zadanie techniki komputerowej. Jest to przecież problem, którego korzenie tkwią w odwiecznym pytaniu: co sprawia, że jesteśmy istotami ludzkimi?

Pierwszym naszym krokiem powinno być stworzenie "inteligentnych agentów", programów, które mogą podejmować najprostsze decyzje i działać jako filtry. Jednakże na pełne rozwiązanie tego problemu musimy poczekać aż do czwartej fazy rozwoju komputera, która przypadnie na lata 2020-2050. Uczeni przewidują, że w tym właśnie okresie inteligentni agenci zostaną zastąpieni przez prawdziwą sztuczną inteligencję.

Przed 2020 rokiem: inteligentni agenci

Inteligentny agent powinien pełnić rolę filtra - odsiewać internetowe śmieci od rzeczy istotnych. Każdy, kto kiedykolwiek poruszał się po Sieci, wie, że większość informacji to cyber-rupiecie i cyberpaplanina, począwszy od czyjś starego zdjęcia ślubnego, a skończywszy na patetycznych deklaracjach rzekomych proroków. Inteligentny agent powinien wiedzieć, czego użytkownik Sieci naprawdę potrzebuje.

Jedną z osób pracujących nad urzeczywistnieniem tej wizji jest Pattie Maes z Laboratorium Środków Przekazu w MIT. Prowadzi ona pionierskie badania, których celem jest stworzenie inteligentnych agentów, programów komputerowych odgrywających rolę sekretarki, doradcy, a nawet przyjaciela.

Po uzyskaniu doktoratu z informatyki pani Maes zajęła się problemem sztucznej inteligencji i zaczęła pracować z Rodneyem Brooksem z MIT nad projektem Cog. Cog miał być człekopodobnym robotem, który uczyłby się jak dziecko. Podobnie jak wcześniej Larry Tesler, powoli traciła złudzenia co do sztucznej inteligencji. "Nie jestem przekonana, czy jeśli zbudujemy robota o inteligencji dwulatka, dowiemy się czegokolwiek o dorosłych. Znacznie prościej jest stworzyć dwulatka metodą biologiczną".⁹¹

Kiedy zaszła w ciążę, założyła się z Brooksem, że jej dziecko osiągnie poziom inteligencji dwulatka wcześniej niż robot Cog. (Zakład wygrała).⁹²

W końcu doszła do wniosku, że skoro nie potrafimy jeszcze stworzyć sztucznej inteligencji, możemy przynajmniej pomóc tej, którą już dysponujemy. Do tego właśnie celu miały służyć programy typu inteligentny agent, zdolne zbierać informacje i podejmować samodzielne decyzje.

Na najniższym poziomie taki agent powinien umieć selekcjonować e-mail, układać listy według ich ważności, usuwać śmieci z poczty komputerowej. Na poziomie wyższym - wprowadzać zmiany w rozkładzie dnia, informować o ważnych telefonach, przypominać o spotkaniach, a nawet chronić przed uciążliwymi petentami. W sytuacjach wymagających natychmiastowej interwencji powinien

⁹⁰ David Nahamoo, wywiad z autorem, czerwiec 1996.

⁹¹ Wywiad z Pattie Maes.

⁹² *Ibidem*.

bezzwłocznie zadzwonić do swojego pana lub pani.

W przyszłości tacy agenci będą pełnić funkcję filtrów. Będą chronić nas przed zatonięciem w oceanie internetowych śmieci. Będą nam również pomagać w odnajdywaniu w Sieci tego, co jest dla nas przydatne. Pattie Maes i jej współpracownikom udało się już zaprogramować inteligentnego agenta, który przeszukuje naukowe bazy danych i wynajduje najważniejsze publikacje dotyczące danego tematu. Najlepsi agenci są krzyżowani ze sobą, aby mogli przekazywać "informację genetyczną" (tzn. upodobania użytkownika) następnemu pokoleniu. Dzięki temu każda następna generacja ewoluujących agentów coraz lepiej zaspokaja oczekiwania programisty. "W mojej wizji takiego doskonałego software'owego systemu agentów - mówi Maes - istnieją ewoluujące formy »życia« specjalizujące się w rozpoznawaniu wszystkiego, czym mógłbyś się zainteresować."⁹³ [...] Każda następna generacja lepiej dostosowuje się do potrzeb użytkownika".⁹⁴

Tego typu agenci będą wprost bezcenni dla osób zainteresowanych najświeższymi wynikami sportowymi, bieżącymi wiadomościami, różnymi nowinkami i ciekawostkami. Nawet podczas naszego snu komputery nie zaprzestaną zbierania informacji, które mogą nas zainteresować. Inteligentni agenci będą też wykorzystywani jako pośrednicy w kontaktach z innymi ludźmi. Osoby samotne wykorzystają ich do skompletowania bazy danych agencji matrymonialnych na całym globie. Poszukujący pracy każą im przejrzeć wszelkie możliwe ogłoszenia. Firmy bez trudu odnajdą konsultantów w nawet najbardziej egzotycznych dziedzinach. Hobbisci będą mogli skontaktować się z osobami o podobnych zainteresowaniach.

Maes uważa, że inteligentny agent powinien mieć twarz i osobowość. Istnieją już programy wyświetlające na ekranie ludzką twarz, która może wyrażać od 10 do 20 rozmaitych stanów emocjonalnych. "Zamiast posługiwać się klawiaturą lub myszką, ludzie będą mówić do agentów lub gestem wskazywać im zadania do wykonania. Zamiast tekstów, wykresów i rysunków na ekranie będą pojawiać się »żywe« istoty, potrafiące informować nas o swoim aktualnym stanie za pomocą gestów i mimiki" - pisze Maes.⁹⁵ A to oznacza, że będziemy zwracali się wprost do ludzkiego oblicza, które może uśmiechać się, robić grymasy, marszczyć brwi, a nawet dowcipkować.

Lata 2020-2050: gry i systemy eksperckie

Naukowcy spodziewają się, że po 2020 roku w Internecie pojawi się sztuczna inteligencja z prawdziwego zdarzenia. Następczynią inteligentnych agentów będzie heurystyka, kodyfikująca logikę i inteligencję za pomocą zbioru reguł. Dzięki heurystyce będziemy mogli porozumieć się z komputerowymi lekarzami, prawnikami czy technikami. Powinni oni precyzyjnie odpowiadać na szczegółowe pytania dotyczące sposobów postępowania w danej sytuacji. Jednym z najwcześniejszych osiągnięć heurystyki było skonstruowanie maszyny grającej w szachy. Heurystyczne maszyny grają w szachy lepiej od ludzi, ponieważ ich działanie opiera się na

⁹³ "Time", 25 marca 1996, s. 58.

⁹⁴ Pattie Maes: Oprogramowanie inteligentne, "Świat Nauki", listopad 1995, s. 58-60.

⁹⁵ *Ibidem*, s. 85.

prostych, precyzyjnie zdefiniowanych zasadach. Analizują miliony ruchów z szybkością światła, dzięki czemu mogą wygrać z każdym, no, może z wyjątkiem największych arcymistrzów szachowych.

W 1996 roku arcymistrz szachowy, Gary Kasparow, przyjął wyzwanie Deep Blue, komputera z IBM, w którym zainstalowano program szachowy. Kasparow był wprost wstrząśnięty. Wyposażony w 32 mikroprocesory Deep Blue potrafił analizować 200 milionów ruchów na sekundę.⁹⁶

"Wyczuwałem wręcz po drugiej stronie stołu nowy rodzaj inteligencji - wspominał Kasparow. - Po raz pierwszy poczułem, że mam do czynienia ze sztuczną inteligencją [...], kiedy podczas pierwszej partii Deep Blue popchnął pionka na pole wystawione na łatwe bicie". To wtedy właśnie Kasparow zrozumiał, że oto zmierzył się z maszyną, która potrafi przewidywać ruchy w zupełnie nowy sposób. "Byłem zdumiony tym poświęceniem pionka" - wyznał arcymistrz.⁹⁷

Chociaż Deep Blue wygrał pierwszą grę, Kasparow znalazł piętę achillesową przeciwnika i zwyciężył. Mecz zakończył się wynikiem 4:2. Szachista otrzymał nagrodę wysokości 400 tysięcy dolarów ufundowaną przez Stowarzyszenie Rozwijania Maszyn Obliczeniowych. Kasparow odkrył, że maszyny grające w szachy postępują zgodnie ze strategią zbiorów. Jeśli zmusić komputer do porzucenia tej strategii, staje się on bezbronny i zaczyna wykonywać bezładne ruchy, jak przebiegający rozpaczliwie nogami żółw przewrócony na pancierz. "Jeśli nie potrafi znaleźć drogi do zwycięstwa, zaatakować króla lub wykonać któregoś z wyznaczonych mu zadań, zaczyna grać bez żadnego planu i szybko wpada w tarapaty - mówił Kasparow. - Dostrzegłem w nim pewne oznaki inteligencji, ale jest ona dziwna, nieefektywna i mało elastyczna. Sądzę, że komputer nie zdoła mi zagrozić jeszcze przez kilka lat".

Był zbyt wielkim optymistą. Zaledwie rok później Deep Blue wyposażony w poprawioną wersję programu pokonał Kasparowa. Świat doznał wstrząsu. "Czy maszyna może myśleć?" - pytały media.

Wiele osób podzielało jednak opinię Douglasa Hofstadtera, informatyka z Uniwersytetu Indiany, który tak skomentował przegraną arcymistrza: "Mój Boże, zawsze sądziłem, że szachy wymagają myślenia. Teraz wiem już, że to nieprawda. Nie oznacza to, że Kasparow nie jest wielkim myślicielem. Po prostu, grając w szachy, można ominąć myślenie, tak jak można fruwać w powietrzu, nie machając skrzydłami".⁹⁸

Pojawiające się w prasie opinie, że maszyny biorą nad nami górę w myśleniu, są stanowczo przedwcześnie. W końcu kieszonkowy kalkulator potrafi liczyć o wiele szybciej niż jakakolwiek żywa istota, a jednak nikt nie wpada z tego powodu w kompleksy. Maszyny grające w szachy są czymś w rodzaju ogromnych kalkulatorów.

Spośród wszystkich heurystycznych programów zdecydowanie największy wpływ na nasze życie codzienne mogą mieć tzw. systemy eksperckie. Zawierają one zakumulowaną wiedzę ludzką i potrafią dokonać analizy problemu jak najlepsi żywi eksperci.

⁹⁶ "Discover", czerwiec 1996, s. 48.

⁹⁷ "Time", 25 marca 1996, s. 55.

⁹⁸ "Washington Post", 19 lutego 1996, s. All. Douglas Hofstadter, wywiad z autorem, 27 maja 1997.

Ta gałąź sztucznej inteligencji opiera się na wyliczaniu wszystkich "jeśli tak, to tak". Ponieważ komputery są niezawodne w błyskawicznym analizowaniu dobrze zdefiniowanego zbioru reguł i rozwiązań, przed systemami AI wcielającymi w życie olbrzymie liczby "reguł kciuka" otwierają się ogromne możliwości. Jeśli czujesz się źle, lekarz zadaje ci serię pytań dotyczących objawów choroby, a następnie informuje cię, jakie mogą być przyczyny twoich dolegliwości. Ten rodzaj wywiadu, oparty na schemacie "jeśli tak, to tak", może zostać przeprowadzony przez komputer, ponieważ pamięta on tysiące reguł pozwalających zdiagnozować chorobę. (W program heurystyczny wyposażony jest gburowaty holograficzny doktor z serialu *Star Trek: Voyager*, a także zabójca HAL 9000 z filmu *2001: Odyseja kosmiczna* - litera "H" w jego imieniu pochodzi właśnie od słowa "heurystyczny"). Heurystyczne programy diagnostyczne nie tylko pozwolą zmniejszyć wydatki w służbie zdrowia, ale w wielu prostych przypadkach mogą być bardziej precyzyjne i wszechstronne niż prawdziwi lekarze, ponieważ można je na bieżąco wzbogacać nowymi informacjami.

W 1975 roku powstał system ekspercki o nazwie Mycin, który skuteczniej od przeciętnego lekarza diagnozował zapalenie opon mózgowych, jeśli tylko używany był zgodnie z precyzyjnie określonymi zasadami. (Ekspert komputerowy, Douglas Lenat, ostrzega żartobliwie: "Spróbuj zapytać program medyczny o powód rdzewienia samochodu, a radośnie zdiagnozuje ci odrę!").⁹⁹

Systemy eksperckie są bardzo przydatne w pewnych gałęziach przemysłu ciężkiego. Gromadząc całe doświadczenie przechodzących na emeryturę inżynierów czy techników chemicznych, mogą stać się ich następcami. W latach osiemdziesiątych w General Electric pracował tylko jeden inżynier, który wiedział, jak reperować wszystkie typy lokomotyw elektrycznych. Znał wszystkie słabe punkty i indywidualne cechy tych wielkich maszyn. Był jednak coraz starszy i cała jego ulotna wiedza, warta dziesiątki milionów dolarów, zostałaby stracona w chwili jego przejścia na emeryturę. Inżynier ten podzielił się wszakże swoimi wiadomościami z programem AI o nazwie Diesel Electric Locomotive Troubleshooting Aid (DELTA), dzięki czemu komputery potrafią obecnie poprawnie zdiagnozować 80% usterek.

Już w 1985 roku 150 przedsiębiorstw wydało oszałamiającą sumę miliarda dolarów na AI - głównie na zakup systemów eksperckich. Jednakże podstawową wadą tych systemów jest brak mechanizmów działających na tej samej zasadzie co ludzki zdrowy rozsądek. Można wpisać w nie tysiące reguł, a wciąż będą popełniały rażące błędy, gdyż nie wykazują nawet dziecięcej intuicji w rozumieniu świata. Powód, dla którego systemy eksperckie nie zdobyły przebojem światowych rynków, najlepiej oddaje następujące powiedzonko: "Łatwiej jest udawać geologa niż pięcioletnie dziecko".¹⁰⁰ Oznacza to, że system ekspercki może bez trudu przyswoić sobie fakty z geologii, ale nie ma nawet tyle zdrowego rozsądku co pięcioletek.

Zdrowy rozsądek wcale nie jest powszechny

Gdybyśmy pozbawili komputery ich tajemniczych, olśniewających akcesoriów, okazałoby się, że

⁹⁹ Douglas B. Lenat: Sztuczna inteligencja, "Świat Nauki", listopad 1995, s. 54.

nie są one niczym więcej, jak urządzeniami do dodawania, "uczonymi idiotami". Choć te dodające maszyny można tak zmodyfikować, że stają się edytorami tekstu, w swojej najgłębszej warstwie pozostają zawsze liczydłami. Potrafią analizować olbrzymią liczbę danych miliony razy szybciej niż człowiek, ale zupełnie nie wiedzą, po co to robią, ani nie rodzi się w nich żadna niezależna myśl. Nie mogą również same się programować.

W latach 2020-2050 jednym z głównych zadań informatyki będzie zbudowanie inteligentnych układów obdarzonych zdrowym rozsądkiem. Zdrowy rozsądek przypomina olbrzymią, ukrytą pod wodą część góry lodowej - istnieje w naszych umysłach na niezmiernie głębokich poziomach podświadomości. Używając go na co dzień, nawet nie zdajemy sobie sprawy z tego, w jakich sytuacjach jest nam potrzebny. Uświadamiamy sobie jedynie niewielką część naszych procesów myślowych. Zdrowy rozsądek, podobnie jak większość tych procesów, jest ukryty głęboko w podświadomości.

W trakcie ewolucji w naszych mózgach nie wykształciły się połączenia neuronowe pozwalające na dokonywanie operacji arytmetycznych. Setki tysięcy lat temu umiejętność mnożenia pięciocyfrowych liczb nie ocaliłaby nam życia, gdybyśmy stanęli oko w oko z głodnym tygrysem szablozębnym. Do tego, abyśmy mogli liczyć z wielką szybkością, wystarczyłoby bardzo niewiele połączeń neuronowych, ale połączenia takie nie powstały, ponieważ nie były nam po prostu potrzebne. W naszych mózgach wyewoluował za to specyficzny zespół cech umysłowych, który pozwala nam używać zdrowego rozsądku.

Dzięki tej właśnie umiejętności mamy szansę przetrwać we wrogim świecie.

Komputery, w przeciwieństwie do ludzi, są arcymistrzami w abstrakcyjnej logice matematycznej, lecz zazwyczaj nie potrafią uchwycić sensu najdrobniejszych pojęć fizyki czy biologii. Komputer nie umie, na przykład, rozwiązać następującej zagadki:

Zuzia i Jasia są bliźniaczkami. Jeśli Zuzia ma 20 lat, to ile lat ma Jasia?

Pojęcie czasu (który sprawia, że wszystkie rzeczy starzeją się w tym samym tempie, że syn jest młodszy od ojca itd.) jest oczywiste dla dzieci, ale nie dla komputera. Jest to zjawisko fizyczne, a nie reguła logiki matematycznej. Komputerowi trzeba powiedzieć, że czas biegnie jednostajnie dla wszystkich.

Komputery nie wiedzą o "oczywistych" faktach biologicznych dotyczących organizmów żywych. Komputer, na przykład, potrafi popełnić następujący błąd:

Człowiek: *Wszystkie kaczki mogą latać. Charlie jest kaczką.*

Robot: *Zatem Charlie może latać.*

Człowiek: *Ale Charlie jest martwy.*

Robot: *Aha, zatem Charlie jest martwy i może latać.*

Komputer musi zostać powiadomiony o tym, że coś, co jest nieżywe, nie może się ruszać. Nie jest to wcale oczywiste z punktu widzenia logiki.

Problem leży w tym, że komputery posługują się zasadami logiki matematycznej, a zdrowy

¹⁰⁰ Denis Shasha, Cathy Lazere: *Out of Their Minds*. Springer-Verlag, Nowy Jork 1995, s. 226.

rozsądek - nie. Biologiczne i fizyczne prawa natury nie są w naturalny sposób wpisane w prawa logiki.

Encyklopedia zdrowego rozsądku

Douglas Lenat poświęcił całe swoje życie na rozwiązanie zagadki zdrowego rozsądku. Stwierdził, że badacze sztucznej inteligencji dotychczas dreptali w miejscu. Zdaniem Lenata należałoby stworzyć coś w rodzaju projektu Manhattan dla AI - przypuścić frontalny atak na problem zdrowego rozsądku. Zamiarem Lenata jest napisanie encyklopedii zdrowego rozsądku, która zawierałaby niemal kompletny zestaw reguł zdroworozsądkowego myślenia. Innymi słowy, zamiast badać poszczególne relacje myślowe, należałoby podjąć bardziej zdecydowane działania.

W 1984 roku Lenat przystąpił do pracy nad projektem Cyc (od ang. *encyclopedia*) finansowanym przez kilka dużych korporacji, m.in. Xerox, Digital, Kodak i Apple. Koszt realizacji tego przedsięwzięcia wynosi 25 milionów dolarów. Podczas gdy w poprzednich programach AI poziom zdrowego rozsądku był niższy niż u trzyletniego dziecka, celem Cyc stało się osiągnięcie poziomu "rozsądku" osoby dorosłej. "W 2015 roku nikt nie kupi komputera, który nie będzie dysponował zdrowym rozsądkiem - twierdzi Lenat - tak jak dzisiaj nikt nie kupiłby urządzenia, które nie radzi sobie z arkuszami kalkulacyjnymi czy edytorami tekstu".¹⁰¹

Lenat wierzy, że już niedługo każdy będzie mógł zaopatrzyć się w obdarzone zdrowym rozsądkiem programy, dzięki którym użytkownicy zaczną porozumiewać się ze swoimi komputerami, zdolnymi interpretować i wykonywać ich polecenia. Lenat zamierza sporządzić pełną listę wszystkich reguł składających się na pojęcie zdrowego rozsądku.¹⁰² Są pewne oczywiste dla nas zasady:

- Nic nie może być w dwu miejscach jednocześnie.
- Ludzie, którzy umarli, nie rodzą się powtórnie.
- Śmierć jest niepożądana.
- Zwierzęta nie lubią bólu.
- Czas biegnie z tą samą szybkością dla każdego.
- Kiedy pada deszcz, ludzie mokną.
- Słodkie jest smaczne.

Praca nad rozbijaniem na logiczne składniki każdego z tych "oczywistych" twierdzeń może zająć zespołowi Lenata kilka tygodni, a nawet miesięcy. Po dziesięciu latach badań zgromadzono 10 milionów takich twierdzeń. Ich wpisanie do programu wymaga wykorzystania jakichś 10 miliardów bajtów informacji. Lenat spodziewa się zgromadzić ostatecznie oszałamiającą liczbę 100 milionów oczywistych prawd.

Do rozpaczy doprowadzają Lenata ukryte w mowie niejednoznaczności, do których rozszyfrowania niezbędna jest znajomość rzeczywistego świata. Rozważmy, na przykład,

¹⁰¹ Daniel Crevier: *AI*. Basic Books, Nowy Jork 1993, s. 242. Wywiad z autorem, 27 maja 1997.

¹⁰² *Ibidem*, s. 240.

stwierdzenie: "Marysia zobaczyła rower w stojaku przed sklepem. Bardzo chciała go mieć". "Skąd wiemy - pyta Lenat - że chodziło jej o rower, a nie sklep czy stojak?". Aby zrozumieć to proste zdanie, Cyc musi poznać niemal cały zbiór rzeczy, których jedni ludzie mogą zazdrościć innym.

Trzy miesiące zabrało Lenatowi zaprogramowanie systemu Cyc tak, żeby rozumiał następujące zdanie: "Napoleon umarł na Świętej Helenie. Zasmuciło to Wellingtona".¹⁰³ Rozwikłanie tych dwu pozornie prostych zdań okazało się skomplikowane, ponieważ Cyc musiał poradzić sobie z sekwencją oczywistych prawd. Po pierwsze, program musiał dowiedzieć się, że ludzie mają przykry zwyczaj umierania; potem, że śmierć jest nieodwracalna; że czyjaś śmierć wyzwała emocje i że smutek jest jedną z tych emocji.

Lenat i jego zespół czerpali pomysły z najmniej oczekiwanego źródła: ze skandalizujących pisemek wykładanych w supermarketach.¹⁰⁴ Badacze zadali sobie pytanie, co powinien wiedzieć ich program, żeby zrozumieć teksty zamieszczane w tych gazetkach (lub też pojąć bezmiar ich naiwności). Czy Cyc mógłby nauczyć się wykrywać błędy, od których roi się w prasie brukowej? (Gdyby program zdołał opanować tę umiejętność, stałby się "rozsądniejszy" od bardzo wielu Amerykanów!).

Jednym z pośrednich celów Lenata jest stworzenie takiego programu, dzięki któremu komputer będzie szybciej się uczyć, "czytając" po prostu nowy materiał zamiast przyswajania nowych porcji wiedzy w postaci specjalnych zestawów przygotowywanych przez armię prywatnych korepetytorów z doktoratami. Cyc powinien wtedy rozwinąć skrzydła niczym młody ptak, który poderwał się do swojego pierwszego lotu. Powinien uwolnić się od swoich nauczycieli i zacząć czytać i uczyć się samodzielnie, jak dziesięcioletnie dziecko.

Swoją filozofię Lenat podsumowuje następująco: "Inteligencja to 10 milionów reguł".¹⁰⁵ Definicja ta jest całkowicie sprzeczna z poglądami fizyków, którzy usiłują zredukować ogromną ilość materiału obserwacyjnego do kilku prostych równań. Lenat twierdzi, że na tym właśnie polega główny problem w badaniach nad sztuczną inteligencją. Podobnie jak prekursor AI, Marvin Minsky, Lenat sądzi, że badacze sztucznej inteligencji wpadli w "fizyczną pułapkę". Będąc pod wielkim wrażeniem sukcesów fizyków, którym udało się opisać świat za pomocą garstki równań, doszli do błędnego wniosku, że sztuczna inteligencja też mogłaby zostać zredukowana do kilku linijek zapisu logicznego.

Dla Lenata zdrowy rozsądek i inteligencja są sumą milionów linii kodu. Nie można ich zredukować do paru wierszy. Dlatego właśnie Lenat uważa, że program Cyc jest tak ważny. Po 2020 roku, jeśli uda się połączyć program, nad którym pracuje Lenat, z systemami eksperckimi, możemy oczekiwać pojawienia się komputerowych lekarzy, chemików, inżynierów i prawników.

Nie wszyscy badacze sztucznej inteligencji podzielają poglądy Lenata. Na przykład Maes sądzi, że prawdziwie inteligentny agent powinien nawiązywać kontakt z otoczeniem i w ten sposób ciągle

¹⁰³ *Ibidem*, s. 241.

¹⁰⁴ David H. Freedman: *Brainmakers*. Simon & Schuster, 1993, s. 56.

¹⁰⁵ Paul Walllich: Krzemowe dzieci, "Świat Nauki", luty 1992, s. 92.

się uczyć.¹⁰⁶ "Cyc nie jest rakieta kosmiczną, która albo wyląduje na Księżycu, albo nie - mówi inny ekspert, Randall Davis, który również uważa, że program powinien przyswajać wiedzę »z zewnątrz«. - Jest to olbrzymi eksperyment, którego korzenie tkwią w samym jądrze empirycznej AI. Bez wątplenia wyniknie z tego coś ważnego". Davis twierdzi, że jesteśmy zbyt krytyczni: "W gruncie rzeczy - argumentuje - jeśli rozejrzemy się po świecie, zobaczymy, że na Ziemi mieszkają półinteligentne istoty [tzn. my], które mają nader wątle pojęcie o czasie, przestrzeni, przyczynowości i tym podobnych rzeczach".¹⁰⁷

"Tydzień z życia" w 2020 roku

W jaki sposób zmiany dokonujące się w świecie nauki mogą wpłynąć na nasze życie? Przewidywania uczonych dotyczące kształtu naszej cywilizacji około 2020 roku są dość dokładne, gdyż wiele prototypowych urządzeń i technologii, które pojawiają się w przyszłości, istnieje już teraz w laboratoriach, a badania potwierdzają ich użyteczność. "Przyszłość jest już tutaj, choć podzielona na małe fragmenty" - mówi Paul Saffo z Instytutu Przyszłości.

W przedstawionym poniżej scenariuszu zarysowane zostały możliwe sytuacje z życia kobiety, która w 2020 roku będzie zajmowała jedno z kierowniczych stanowisk w firmie zajmującej się opracowywaniem nowoczesnych technologii.

1 czerwca 2020, 6:30 rano

Budzi cię cichy dźwięk dzwonka. Milczący, zajmujący całą ścianę obraz przedstawiający brzeg morza nagle ożywa. Pojawia się miła twarz dziewczyny, którą nazwałeś Molly.

- Już pora wstawać! - pogodnie zachęca Molly.

Kiedy wchodzisz do kuchni, wszystkie urządzenia natychmiast przystępują do pracy. Ekspres do kawy sam się włącza, toster przyrumienia grzanki, tak jak lubisz, twoja ulubiona muzyka delikatnie wypełnia przestrzeń. Inteligentny dom zaczyna pulsować życiem.

Na stoliku czeka osobiste wydanie gazety porannej, którą Molly wydrukowała specjalnie dla ciebie, przejrzawszy wcześniej Sieć.

- Nie ma mleka. A jogurt skwaśniał - oświadcza twoja lodówka, kiedy opuszczasz kuchnię. A Molly dodaje:

- Zaczyna nam brakować komputerów. Kup z dziesięć, kiedy będziesz w sklepie.

Większość twoich znajomych kupiła sobie inne programy inteligentnych agentów - bez twarzy i osobowości. Niektórzy twierdzą, że się przyzwyczaili, inni nie znoszą mówić do maszyny. Ale tobie podoba się łatwość, z jaką można kierować wszystkimi rzeczami za pomocą głosu.

Zanim wyjdiesz z domu, mówisz odkurzacowi, żeby oczyścił wykładziny. Odkurzac bez ociągania zabiera się do roboty, sunąc wzdłuż przewodów ukrytych pod dywanami.

Kiedy wyjeżdżasz do pracy swoim elektrycznym samochodem, Molly, która już wcześniej włączyła się do systemu GPS, ostrzega cię:

¹⁰⁶ Wywiad z Pattie Maes.

- W związku z rozbudową autostrady nr 1 tworzą się tam wielkie korki. Tu masz lepszą trasę - i na przedniej szybie, jak duch, pojawia się mapa pokazująca objazd.

Kiedy wyjeżdżasz na inteligentną autostradę, światła, jedno po drugim, zmieniają się przed tobą na zielone, gdyż droga sama wie, że nie ma innych samochodów w pobliżu. Przy pełnej prędkości przejeżdżasz przez bramki, które swoimi laserami natychmiast rejestrują numer twojego samochodu i elektronicznie obciążają twoje konto opłatą za przejazd. Molly przez cały czas obserwuje za pomocą radaru samochody, których coraz więcej pojawia się dookoła. Nagle komputer, dostrzegając niebezpieczeństwo, wrzeszczy:

- Uwaga! Masz za sobą samochód!

O mało co nie zajęłaś drogi pojazdowi, który znalazł się w martwym polu widzenia. Molly kolejny raz uratowała ci życie. (Trzeba się będzie zastanowić, czy nie lepiej jeździć do pracy automatycznym tranzytem zespołowym).

Przełączasz pocztę wideo w swoim biurze w Computer Genetics, dużej firmie specjalizującej się w sekwencjonowaniu DNA. Nic ważnego, kilka rachunków. Wkładasz swoją inteligentną kartę do komputera na ścianie. Wiązka światła laserowego identyfikuje tęczęwkę twojego oka i wpłaty zostają dokonane. O dziesiątej spotykasz się za pośrednictwem ściennego ekranu z dwoma kolegami z pracy.

Czwarta po południu

Molly przypomina ci, że masz wizytę u lekarza, i natychmiast łączy cię z nim. Na ściennym ekranie ukazuje się twój wirtualny doktor.

- Znaleźliśmy w twoim moczu śladowe ilości pewnego białka - informuje. - Powstała mikroskopowych rozmiarów kolonia komórek rakowych w okrężnicy.

- To coś poważnego? - pytasz zaniepokojona.

- Prawdopodobnie nie. To nie więcej niż kilkaset komórek. Zlikwidujemy je za pomocą paru inteligentnych cząsteczek.

- A tak z czystej ciekawości, co by mi groziło w czasach, kiedy nie było jeszcze testów białkowych i inteligentnych cząsteczek?

- Hm, w ciągu 10 lat pojawiłby się niewielki guz. Byłoby to już kilka miliardów komórek rosnących w twoim ciele. Na tym etapie miałybyś pięcioprocentową szansę na przeżycie. Zastosowaliśmy także nowe urządzenie do obrazowania magnetycznego, żeby zerknąć w twoje tętnice - marszczy brwi wirtualny doktor. - Komputer twierdzi, że przy obecnym tempie odkładania się cholesterolu za 8 lat ryzyko zawału serca wzrośnie do 80 procent. Posyłam ci pocztą wideo dokładny program ćwiczeń, relaksacji, medytacji i jogi.

No, świetnie - myślisz - Molly doszedł nowy obowiązek: od dziś będzie moim osobistym trenerem.

Wieczór

Dzisiaj wieczorem jesteś zaproszona na koktajl w twojej firmie. Kiedy kręcisz się pomiędzy

¹⁰⁷ Crevier: *AI*, s. 243.

gośćmi, kamera wideo zamocowana w twoich okularach dyskretnie obserwuje twarze zgromadzonych, a Molly porównuje je z wizerunkami zapisanymi w pamięci komputera. Przez miniaturowy przekaznik Molly szepcze ci do ucha, kto jest kim.

Pod koniec przyjęcia okazuje się, że trochę za dużo wypiałś.

- Jeśli wypijesz jeszcze kroplę, analizator oddechu nie pozwoli ci zapalić silnika - ostrzega Molly.

Środa, północ

Niespodziewanie wpadasz na pomysł zrobienia małych zakupów.

- Molly, wyświetl wirtualny supermarket. Chcę kupić nowy sweterek.

Na ściennym ekranie ukazuje się wnętrze supermarketu. Poruszasz rękami nad stoliczkiem do kawy i wędrujesz pomiędzy półkami sklepu.

Bierzesz z półki sweter. Podoba ci się fason i wzór, ale to nie twój rozmiar. Na szczęście Molly dysponuje twoimi dokładnymi wymiarami.

- Molly, chciałabym kupić taki sweterek, ale nie niebieski, tylko czerwony. I bez tych zakładek. Wyślij zamówienie i dopisz do rachunku na koncie.

Następnie przychodzi ci do głowy, żeby obejrzeć kilka wystawionych na sprzedaż mieszkań w mieście i domków letniskowych w nadmorskich miejscowościach Europy. Na ekranie zaczynają pojawiać się mieszkania oraz domki, wszystkie w przedziale cen, który wcześniej podałaś. Przechadzasz się po nich, ciekawie rozglądając się dokoła.

Czwartek, noc

Nie masz żadnych planów na ten weekend. Prosisz Molly, żeby podała ci nazwiska mieszkających w pobliżu samotnych chłopaków, którzy mają podobny do twojego gust i zbliżone zainteresowania.

Na ekranie pojawiają się twarze i krótkie charakterystyki paru kandydatów.

- No, Molly, jak myślisz, z którym mogłabym się spotkać?

- Sądzę, że obiecująco wygląda numer trzeci i piąty. Pasują do ciebie w 85 procentach. - Molly przygląda się dokładnie rysom twarzy wszystkich kandydatów i dokonuje jakichś obliczeń. - Uważam, że trójka i szóstka są całkiem przystojni. I pamiętaj o dziesiątce. To chłopak z dobrej rodziny - dodaje Molly.

Z dość licznej grupy młodych ludzi Molly wybrała facetów wyglądających na skromnych i konserwatywnych. Ona zaczyna zachowywać się jak rodzona matka!

Sobota, wieczór

Jeden z chłopaków przyjął zaproszenie.

Wybraliście się do restauracji, w której panuje romantyczna atmosfera. Właśnie zabierasz się do jedzenia, kiedy Molly, która zdążyła już przeskanować wartość odżywczą tego, co masz na talerzu, ostrzega:

- W tym posiłku jest za dużo cholesterolu.

Ogarnia cię nagła ochota, żeby wyłączyć Molly.

Po kolacji postanawiacie pójść do twojego mieszkania i obejrzeć jakiś stary film.

- Molly, chciałabym obejrzeć *Casablankę*. Czy mogłabyś wstawić nasze twarze zamiast Ingrid Bergman i Humphreya Bogarta?

Molly wyszukuje film w Internecie i zaczyna przeprogramowywać wszystkie sceny, w których pojawiają się twarze bohaterów.

Wkrótce obserwujesz na ekranie siebie i swojego towarzysza przeniesionych do targanego wojną Maroka. Pod koniec filmu nie możesz powstrzymać się od uśmiechu, widząc, jak patrzycie sobie w oczy w ostatniej scenie na lotnisku.

- Niech ci się jeszcze raz przyjrzę, mała.

Podsumowanie

W latach 2020-2050 będziemy prawdopodobnie stykać się na co dzień z systemami eksperckimi i programami obdarzonymi "zdrowym rozsądkiem". Zrewolucjonizuje to sposób wykonywania pewnych zawodów. Chociaż specjalistyczna informacja i usługi będą nadal opierać się na pracy ludzi, mnóstwo codziennych problemów da się rozwiązać przy użyciu inteligentnych systemów eksperckich.

Oczywiście, taki rodzaj współpracy komputera z człowiekiem rodzi wiele pytań. Co czyni z nas istoty rozumne? Jak myślimy? W następnych dwu rozdziałach poznamy granice sztucznej inteligencji i dowiemy się, czy możliwe jest stworzenie sztucznego umysłu.

W przeciwieństwie do mechaniki kwantowej i biologii molekularnej badania nad świadomością człowieka są ciągle w stadium początkowym. Prawdopodobnie nie narodził się jeszcze Newton lub Einstein sztucznej inteligencji. I w tej dziedzinie dokonuje się jednak rewolucja obalająca dotychczasowe poglądy, prowokująca do podjęcia na nowo dyskusji na temat tego, co znaczy być istotą rozumną.

MYŚLĄCE MASZYNY

W ciągu najbliższych trzydziestu lat może się nagle okazać, że nie jesteśmy już najinteligentniejszymi istotami na Ziemi.

JAMES McALEAR

Osoby zwiedzające sławne Laboratorium Sztucznej Inteligencji w MIT czeka wiele niespodzianek. Laboratorium zajmuje ósme i dziewiąte piętro nowoczesnej budowli, która z zewnątrz przypomina zwykły biurowiec. Budynek mieści się przy Technology Square, tuż obok głównego kampusu MIT.

Tworzenie przyszłości

Kiedy tylko otworzymy drzwi laboratorium, stajemy się świadkami przedziwnego spektaklu: oto fabryka najdroższych na świecie zabawek, plac zabaw dla genialnych inżynierów, którzy nigdy nie przestali być dziećmi. Grupy pochylonych nad stołami studentów za pomocą przeróżnych narzędzi ostrożnie mocują nogi, ręce, korpusy i głowy. Miejsce to wygląda jak najbardziej zaawansowany technologicznie warsztat św. Mikołaja. Przemierzając laboratorium, zauważamy rzeczy, na których widok każdemu dziecku rozbłysłyby oczy: pole bitwy z realistycznie odtworzonymi czołgami-zabawkami, wielkie dinozaury z tworzyw sztucznych, olbrzymią, zrobioną z pleksi skrzynię z piachem, w której mieszkają półmetrowa mrówka i dwudziestopięciocentymetrowy karaluch. Te mechaniczne istoty, które nie są wcale futurystycznymi prezentami pod choinkę, mogą, jako armia automatonów, wędrować w przyszłości po powierzchni Marsa i badać Układ Słoneczny. Nie jest też wykluczone, że pewnego dnia zamieszkają w naszych domach.

W laboratorium panuje atmosfera zabawy. Tablice pokryte są dowcipnymi wierszykami i powiedzonkami, a na podłodze wymalowana jest żółtą farbą brukowana droga prowadząca do komputera nazwanego Oz.

W rogu pracowni siedzi Odie. Jest to niemal półmetrowej wysokości maszyna przypominająca psa. Zamiast oczu ma kamery, a na szyi inteligentną kokardę i rzeczywiście przypomina psa Odiego z zabawnego komiksu o kocie Garfieldzie. Odie reaguje na ruch. Jego wideooczy odnotowują z wielką dokładnością każdy ruch ręki i śledzą wszelkie gesty i poruszenia. Ale w przeciwieństwie do swojego filmowego imiennika laboratoryjny Odie nie jest flegmatykiem.¹⁰⁸ Upuść niespodziewanie książkę, a oczy Odiego natychmiast dostrzegą upadający przedmiot i będą śledzić jego ruch aż do zetknięcia z podłogą.

W innym rogu spoczywa WAM, wielkie mechaniczne ramię połączone z kamerą telewizyjną.

¹⁰⁸ Michael Wessler, Laboratorium Sztucznej Inteligencji MIT, wywiad z autorem, 10 lipca 1996.

Jeśli rzucimy w jego kierunku piłeczkę, kamera WAM-a lokalizuje ją w przestrzeni, komputer wylicza trajektorię, po której piłka będzie się poruszać, i ramię wysięgnika chwyta piłeczkę w locie. Niezłe jak na jednorękiego bandytę.

W suterenie leży Trudy, nazwana tak ze względu na podobieństwo do Troodona, dinozaura przypominającego kurczaka, który dawno temu dreptał po Ziemi. Trudy może chodzić, biegać, a któregoś dnia zacznie zapewne skakać, tak jak niegdyś jej imiennik. Jest to jeden z kilku chodzących robotów zbudowanych w MIT. Niektóre z nich mogą podskakiwać, a nawet fikać koziołki. Nie potrafią tylko tańczyć breakdance'a.

Zwiedzając te dziwne pomieszczenia, można odnieść wrażenie, że są to pokoje do zabawy dla małych geniuszy. To tak jakby towarzysze Piotrusia Pana zamienili się w majsterkowiczów i hakerów. Okazuje się, że planowaniem przyszłości zajmuje się grupa psotnych, przerośniętych dzieciaków z doktoratami.

Pośród całego mnóstwa najróżniejszych mechanicznych zabawek znajdujemy niezwykle prostą konstrukcję o nazwie Attila, stworzoną przez Rodneya Brooksa. Attila nie grzeszy urodą. Waży około kilograma i wygląda jak wielki karaluch zrobiony z prętów i wyposażony w 10 mikroprocesorów i 150 czujników, niezdarnie poruszający się na sześciu nogach. Większą część dnia spędza na chodzeniu. Przemieszcza się wolno (z szybkością około 2 kilometrów na godzinę), ale z wielką zręcznością omija wszelkie przeszkody, które napotyka na swojej drodze.¹⁰⁹

"Attila jest bez wątpienia najbardziej skomplikowanym robotem na świecie" - Brooks chęlnie się nim jak dumny ojciec.

Zdaniem Brooksa, przyszłość nie należy wcale do olbrzymich komputerów, od których roi się w naiwnych hollywoodzkich filmach, ale do stworów takich jak Attila, nadzwyczaj sprytnych mechanicznych owadów. W przyszłości zmieni się zupełnie podejście do sztucznej inteligencji.

W przeciwieństwie do zwykłych robotów, które poruszają się dzięki wgranym do ich pamięci specjalnym programom, Attila uczy się wszystkiego od początku. Musi samodzielnie opanować umiejętność chodzenia. Kiedy się go włączy po raz pierwszy, odnóża rozjeżdżają mu się na wszystkie strony jak pijanemu karaluchowi. Powoli, metodą prób i błędów udaje mu się skoordynować ruchy swoich sześciu nóg. Sposób, w jaki Attila uczy się pełzać po laboratorium sztucznej inteligencji, oparty jest na prostym mechanizmie sprzężenia zwrotnego.¹¹⁰

Roboty tej nowej generacji nazywane są insektoidami lub owadoidami.

"Owady dysponują nadzwyczaj powolnymi »komputerami«, złożonymi z kilkuset tysięcy neuronów, a mimo to latają i unikają zderzeń z przeszkodami w czasie rzeczywistym - pisze Brooks. - Skoro tak dobrze funkcjonują w swoim otoczeniu, muszą bardzo sprytnie zarządzać inteligencją. Zacząłem więc się zastanawiać, jak by tu zreorganizować przetwarzanie informacji u robotów, aby mogły poruszać się w realnym świecie w czasie rzeczywistym".¹¹¹

Moc mózgu owadów jest mniejsza niż moc obliczeniowa standardowego komputera, a jednak

¹⁰⁹ David H. Freedman: *Brainmakers*. Simon & Schuster, Nowy Jork 1994, s. 15.

¹¹⁰ Rodney Brooks, wywiad z autorem, 10 lipca 1996.

¹¹¹ Freedman: *Brainmakers*, - s. 24.

górują one nad swoimi mechanicznymi rywalami z MIT. W porównaniu z maleńkimi, chżyymi insektami, które rozprzestrzeniły się na Ziemi, tradycyjne roboty to nieruchawe, głupekowate niezdary.¹¹² Brooks nie potrzebuje monstrualnych programów komputerowych, które mają odtwarzać procesy rozumowania i myślenia. Jego stworki mają malutkie mózgi i wątle, ale sprawne obwody, które uczą się tego, co prawdziwe owady robią najlepiej: myszkowania po całym otoczeniu.

Pionierskie wynalazki Brooksa i jego kolegów poszybowały już w przestrzeń kosmiczną i wylądowały na Marsie. Insektoidy Brooksa, takie właśnie jak Attila, wywarły na ludziach z NASA tak głębokie wrażenie, że stały się pierwowzorem pierwszego pojazdu marsjańskiego: *Sojournera*.¹¹³

Sojourner waży około 11 kilogramów, ma sześć kół i może, niemal bez żadnych wskazówek z Ziemi, pełzać i manewrować po powierzchni pełnej głazów i głębokich kraterów. Został on wysłany na Marsa na pokładzie rakiety *Delta II* w grudniu 1996 roku. Rover, który jest wykorzystywany podczas misji *Mars Pathfinder*, był pierwszym samodzielnym pojazdem swobodnie wędrującym po pustynnej planecie.¹¹⁴ (Zdalne sterowanie pojazdem poruszającym się po powierzchni Marsa nie wchodzi w rachubę, gdyż sygnał radiowy, nawet przy sprzyjającym ułożeniu planet, biegnie tam z Ziemi około 10 minut). Planuje się zbudowanie pięciu następnych robotów tego typu.¹¹⁵ Mają one zostać wykorzystane w przyszłej stacji kosmicznej.

Artykuły Brooksa o prowokujących tytułach, takich jak "In-telligence Without Reason" ("Inteligencja bez rozsądku") czy "Elephants Don't Play Chess" ("Słonie nie grają w szachy"), rzuciły nowe światło na skomplikowany problem sztucznej inteligencji.¹¹⁶ Trwające od kilkadziesiąt lat prace nad udoskonaleniem programów do gry w szachy nie przyniosły odpowiedzi na pytanie, dlaczego słonie, które nie grają w szachy, tak dobrze dają sobie radę w swoim naturalnym środowisku. Niewielkie roboty Brooksa poruszają się w rzeczywistym świecie, a nie w sterylnym i precyzyjnie kontrolowanym otoczeniu. Brooks nie zamierza nikomu wmawiać, że jego roboty dysponują jakimikolwiek możliwościami rozumowania.

Jak trzy rewolucje wzmacniają się nawzajem

Biologiczne podejście do sztucznej inteligencji określa się mianem nauki od zera. Źródłem inspiracji jest dla uczonych nie tylko życie owadów, ale również obserwacja różnorodności prostych struktur biologicznych i fizycznych, na przykład żabich oczu, neuronów i sieci neuronowych, DNA, ewolucji i mózgow zwierząt. Najdziwniejszych jednak (i najbardziej obiecujących) wskazówek dostarcza fizyka kwantowa atomu.

¹¹² Wywiad z Rodneyem Brooksem.

¹¹³ Donna Shirley, wywiad z autorem, 14 sierpnia 1996. Rodney Brooks, Anita M. Flynn: Fast, Cheap and Out of Control, "Journal of the British Interplanetary Society", 42 (1989), s. 478-485.

¹¹⁴ NASA Web Page; Mars Pathfinder Web Page; wywiad z Donna Shirley.

¹¹⁵ Wywiad z Rodneyem Brooksem.

¹¹⁶ Rodney A. Brooks: Intelligence Without Reason, "Proceedings of the 1991 International Joint Conference on Artificial Intelligence", 1991, s. 569-595. Rodney A. Brooks: Elephants Don't Play Chess [w] *Designing Autonomous Agents*. MIT Press, Cambridge, Mass. 1990, s. 3-15

Nauka od zera polega na tym, że skonstruowane przez nas urządzenia uczą się wszystkiego od początku, tak jak robią to prawdziwe, żywe organizmy. Maszyny te, podobnie jak małe dzieci, wyciągają wnioski z własnych doświadczeń. Filozofię tę można podsumować w następujący sposób: uczenie się jest wszystkim, logika i oprogramowanie - niczym. Stwarzamy maszynę, która, poruszając się po rzeczywistym świecie, sama poznaje prawa logiki i fizyki.

Jak podkreślałem wcześniej, postęp naukowy będzie następstwem zacieśniania się więzi pomiędzy mechaniką kwantową, biologią molekularną i informatyką. Po latach stagnacji w dziedzinie sztucznej inteligencji rewolucja kwantowa i biomolekularna zaczynają wskazywać kierunki nowych, ciekawych badań.

Jedną z najdziwniejszych konsekwencji połączenia zdobyczy trzech rewolucji jest pewne zjawisko natury socjologicznej; fizycy teoretycy (którzy zgłębiają takie tajemnice fizyki, jak na przykład teoria superstrun, i próbują ujednocić prawa rządzące Wszechświatem) zaczynają interesować się badaniami nad mózgiem. Kilku moich kolegów, ekspertów od teorii grawitacji i teorii superstrun, bada obecnie funkcje mózgu, wykorzystując swoją rozległą wiedzę z dziedziny fizyki kwantowej i traktując neurony jak atomy.

To wzajemne oddziaływanie trzech rewolucji naukowych jest jednym z najważniejszych czynników, które będą kształtować oblicze nauki w przyszłości.

Chociaż reprezentanci obu szkół w badaniach nad sztuczną inteligencją pracują w tym samym budynku, istnieją między nimi wyraźne podziały. Pierwszą grupę tworzą wybitni naukowcy, którzy poświęcili całe życie na programowanie olbrzymich komputerów mających za zadanie modelować ludzką inteligencję. Symbolem sztucznej inteligencji stał się dla nich potężny komputer - im większy, tym lepszy. Strategia taka została ochrzczona mianem metody "z góry na dół". Uczni reprezentujący ten kierunek myślenia założyli, że można zaprogramować logikę oraz umiejętność rozumowania tak, aby maszyna zaczęła myśleć. Przeobrażenie się zwykłych komputerów w myślące maszyny przypominać będzie narodziny rzymskiej bogini mądrości Minerwy, która wyskoczyła z głowy Jowisza w całkowicie uformowanej postaci.

Pomysł na zbudowanie myślącej maszyny był prosty: do komputera należy włożyć zbiór złożonych reguł oraz oprogramowanie odtwarzające logikę i inteligencję, dołączyć kilka programów odpowiedzialnych za mowę i widzenie, dodać mechaniczne ręce, nogi i oczy i... voila -już mamy inteligentnego robota. W jego mózgu znajdzie się pełny zestaw informacji o zewnętrznym świecie, szczegółowy podręcznik opisujący reguły życia w naszej rzeczywistości.

Koncepcja ta opierała się na założeniu, że inteligencja może być symulowana przez maszynę Turinga, która stanowi podstawę działania wszystkich komputerów.¹¹⁷ Już wkrótce jednak okazało

¹¹⁷ Nazwa "maszyna Turinga" powstała w latach 30. Alan Turing był brytyjskim matematykiem, który usiłował dotrzeć do samej istoty funkcjonowania maszyny liczącej. Maszyny cyfrowe, i te najprostsze, i te najbardziej skomplikowane, są maszynami Turinga lub inaczej "uniwersalnymi maszynami liczącymi". Maszyna Turinga składa się z nieskończenie pojemnego, binarnego urządzenia wejścia/wyjścia, procesora oraz programu. Procesor wczytuje dane wejściowe, przetwarza je zgodnie z instrukcjami programu i przekazuje wyniki na wyjście. Procesor może wykonać jedynie 4 operacje: zamienić miejscami 1 i 0 lub odwrotnie oraz przeskoczyć z danego miejsca o jedno miejsce do przodu lub do tyłu. Jest rzeczą godną uwagi, że działanie każdego nowoczesnego komputera można symulować tylko za pomocą tych czterech operacji.

się, że tradycjoniści nie zdawali sobie sprawy z niewyobrażalnych wprost trudności związanych ze sporządzeniem pełnej mapy ludzkiej inteligencji. Myślące komputery były ułomne. Poruszające się roboty wymagały ogromnych mocy obliczeniowych, a mimo to były nieprawdopodobnie głupie, nieporadne i powolne. Często gubiły się i nie wiedziały, co dalej ze sobą począć. W rzeczywistym świecie nie było z nich żadnego pożytku.

Thomas Dean z Uniwersytetu Browna przyznaje, że niezdarne, ciężkie roboty są konstrukcjami nad wyraz prymitywnymi. Dean twierdzi jednak, że jego maszyny "są wystarczająco sprawne, aby zejść na dół, nie zostawiając ogromnych rys na schodach".¹¹⁸

Według jednego z pionierów sztucznej inteligencji, Herberta Simona, przedstawiciele szkoły "z góry na dół" strzelali często gole do własnej bramki, składając nierozważne obietnice. Berthold Horn z MIT opowiadał historię, która wydarzyła się w Bostonie podczas konferencji na temat sztucznej inteligencji. Pewien naukowiec oświadczył dziennikarzom, że w ciągu pięciu lat pojawią się roboty podnoszące przedmioty z podłogi. Horn odciągnął badacza na bok i szepnął:

- Nie obiecuj takich rzeczy! Inni też tak przepowiadali i mieli potem tylko kłopoty. Przecież nie wiesz, ile to naprawdę zajmie czasu.

- A, co mi tam - odparł naukowiec. - Zauważ, że wszystkie terminy, o których mówię, dotyczą czasu po moim przejściu na emeryturę.

- Ale ja nie będę jeszcze na emeryturze. Ci ludzie gotowi wtedy przyjść i dręczyć mnie pytaniami, gdzie są te roboty, które miały zbierać porozrzucane po sypialni skarpetki.¹¹⁹

Wielu badaczy zrozumiało już, że nadszedł czas kształcenia komputerów "od zera". Owadzie maszyny Brooksa wydają się z początku niezdarne, ale po okresie prób i błędów zaczynają znakomicie radzić sobie na nierównym terenie i z łatwością omijają przeszkody.

Zwolennicy "nauki od zera" twierdzą, że stworzone przez nich maszyny przypominają pierwsze ssaki: szybkie, zwinne istoty obejmujące we władanie świat, w którym wymierają ociężałe komputery-dinozaury. Podczas gdy szkoła "z góry na dół" tonie w milionach linii kodu komputerowego, reprezentanci drugiego kierunku wierzą, że ich owadopodobne stwory zawojują świat.

Mimo że stosunki pomiędzy obiema grupami są przyjazne, Brooks i jego koledzy uważani są za heretyków. Ci zaś, stosując zasady zapożyczone z biologii i ewolucji, okazują lekceważenie przedstawicielom szkoły komputerowej.

Współzałożyciel Laboratorium Sztucznej Inteligencji, Marvin Minsky, pyta: "Jaki sens ma budowanie robotów, które potrafią przejść stąd-dotąd, ale nie odróżniają stołu od filiżanki do kawy".¹²⁰

"Złości mnie - odpowiada Brooks - kiedy ludzie mi mówią: »Ech, te twoje roboty nie potrafią ani tego, ani tego«. Rzeczywiście, nie potrafią. A czy programy grające w szachy potrafią wspinać się

¹¹⁸ Paul Wallich: Krzemowe dzieci, "Świat Nauki", luty 1992, s. 89.

¹¹⁹ D. Crevier: *AI*. Basic Books, Nowy Jork 1993, s. 7.

¹²⁰ Freedman: *Brainmakers*, s. 29.

po górach?".¹²¹

Mogłoby się wydawać, że tak ogromne różnice zdań muszą w nieunikniony sposób paraliżować pracę w laboratorium. W rzeczywistości jest inaczej - różnorodność poglądów jest tolerowana, a nawet popierana.

"To wspaniałe, że badacze walczą i spierają się ze sobą - mówi dyrektor, Patrick Winston. - Znowu zaczynają robić interesujące rzeczy, tak jak to było na początku istnienia laboratorium".¹²²

"Absolutna zgoda to oznaka stężenia pośmiertnego" - twierdzi zastępca dyrektora, Tomas Lozano-Perez.¹²³

Niewykluczone, że w XXI wieku dwie rywalizujące ze sobą szkoły stopią się w jedną całość. Pionierzy sztucznej inteligencji, tacy jak Hans Moravec z Uniwersytetu Carnegie-Mellon, sądzą, że prawdziwy postęp w tej dziedzinie zostanie osiągnięty dzięki wymieszaniu się elementów obu metod badawczych.

"W pełni inteligentne maszyny powstaną wtedy, kiedy przedstawiciele obu szkół zjednoczą swoje wysiłki - twierdzi Moravec, przewidując, że nastąpi to w ciągu najbliższych 40 lat".¹²⁴

Ostateczne połączenie dwóch przeciwstawnych kierunków w połowie przyszłego wieku to najbardziej realna przepowiednia dotycząca przyszłości sztucznej inteligencji. Obie szkoły mają dużo racji. Ludzie czerpią wiedzę nie tylko z własnych doświadczeń - wykorzystują również wiadomości, które kiedyś zapamiętali. Wykorzystują także pewne gotowe porcje informacji. Kiedy uczy się obcego języka, nowego tańca lub gry na jakimś instrumencie czy zgłębiamy tajniki matematyki wyższej, nasz mózg zarówno stosuje metodę prób i błędów, jak i zapamiętuje pewne reguły.

Zaprogramowane roboty

Badania nad sztuczną inteligencją są wciąż jeszcze w stadium początkowym, dlatego też nie należy się spodziewać, że w ciągu najbliższych dwudziestu kilku lat w sklepach pojawią się produkty z Laboratorium Sztucznej Inteligencji w MIT. Można natomiast oczekiwać, że w pierwszych dwóch dziesięcioleciach XXI wieku wzrośnie produkcja robotów przemysłowych, które będą albo niemal w pełni zaprogramowane, albo zdalnie sterowane.

W latach 2020-2050, w czwartej fazie rozwoju komputerów, wokół nas zaczną kręcić się inteligentne automaty, które opanują również Internet. W tym to okresie może dojść do zjednoczenia szkół "z góry na dół" i "nauki od zera". Synteza ta powinna doprowadzić do powstania robotów potrafiących uczyć się, poruszać oraz wchodzić w rozumne interakcje z istotami ludzkimi. Po 2050 roku rozpocznie się prawdopodobnie Piąta faza - pojawią się pierwsze roboty zdolne odczuwać swoje istnienie oraz dysponujące pewnym rodzajem świadomości.

Istnieje ogromna różnica pomiędzy konstruowanymi w MIT prawdziwymi, samodzielnie

¹²¹ *Ibidem.*

¹²² *Ibidem*, s. 30.

¹²³ *Ibidem.*

¹²⁴ Hans Moravec: *Mind Children*. Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1988, s. 20. Wywiad z autorem, 14 stycznia 1997.

działającymi automatonami a przemysłowymi automatami, urządzeniami w pełni zaprogramowanymi, zamontowanymi na przykład wzdłuż linii produkcyjnych w fabrykach samochodów w Detroit. Zaprogramowane roboty dysponują "inteligencją" prostych, nakręcanych zabawek, katarynek i świątecznych kartek grających. Działają wedle instrukcji zapisanych na dyskach komputerów lub mikroprocesorach. Każdy ich ruch jest zapisany w kodzie programowym i z niego odtwarzany. W studiu filmowym Disneya stworzono, na przykład, roboty, które potrafią - często lepiej niż ludzie - śpiewać, tańczyć, a nawet opowiadać dowcipy. Są one jednak tylko zaprogramowanymi, nakręcanyimi zabawkami, które odtwarzają wyznaczone im role.

Zaprogramowanym i zdalnie sterowanym robotom już dziś zleca się wykonywanie szczególnie niebezpiecznych zadań. Robot Rover 1 został wykorzystany do naprawy uszkodzonego w 1979 roku reaktora elektrowni jądrowej Three Mile Island, gdzie nastąpiło stopienie rdzenia. W 1986 roku Jason Jr., robot zajmujący się naprawą łodzi podwodnych, zrobił historyczne zdjęcia rdzewiejącego na dnie Atlantyku wraku Titanica. Rosyjski zdalnie sterowany robot *Łunochod* wylądował na Księżycu i kręcił się po tamtejszych kraterach.

W pierwszym dwudziestoleciu XXI wieku w naszych domach, szpitalach i biurach pojawiać się będzie coraz więcej zaprogramowanych robotów. Urządzenia tego typu produkowane są już dziś. Jednym z nich jest HelpMate, poruszający się na czterech kończynach robot medyczny używany w Danbury Hospital (Connecticut), który roznosi lekarstwa i przybory dla lekarzy oraz pielęgniarek. Dzięki wykorzystaniu robotów medycznych można by zredukować koszty opieki zdrowotnej w domach starców.¹²⁵ Kalifornijski Robo-Surgeon, robot medyczny używany w Memoriał Medical Center na Long Beach, wykorzystywany jest do operacji mózgu. Potrafi on precyzyjnie, z dokładnością do jednej tysięcznej cala, wywiercić otwór w czaszce. Przypomina wielkie mechaniczne ramię, którego końcówka zaopatrzona jest w wymienialny skalpel lub igłę.¹²⁶ Z kolei ważący około 220 kg robot Sentry pełnił funkcję strażnika. Firma Denning Mobile Robotics sprzedawała te roboty za 50 tysięcy dolarów. Z wyglądu Sentry jest podobny do R2D2 z *Wojen gwiazdnych* i przypomina 250-litrowy bęben na kółkach. Znakomicie spełniał swoją rolę, jeśli tylko nie schodził z wytyczonej trasy patrolowania, którą przebywał z prędkością 8 kilometrów na godzinę.¹²⁷ Jeden z takich robotów udaremnił nawet napad rabunkowy w Centrum Wystawowym Bayside w Bostonie.

Moravec sądzi, że ewolucja tych niezdarnych automatów doprowadzi w końcu do powstania znacznie doskonalszych modeli robotów. Scenariusz tego procesu powinien wyglądać następująco:

W latach 2000-2010 roboty zaczną samodzielnie poruszać się po fabrykach, szpitalach i domach. Staną się niezawodnymi pomocnikami, którym będzie można powierzać dobrze sprecyzowane zadania. Moravec nazywa je Volks-robotami. Będą potrafiły przycinać trawniki, wyregulować silnik samochodu, a może nawet gotować.

¹²⁵ *Ibidem* s. 36.

¹²⁶ *Ibidem* s. 37.

¹²⁷ George Harrar: *Radical Robots*. Simon & Schuster, Nowy Jork 1990, s. 36.

Między rokiem 2010 a 2020 ten typ robotów wyprą urządzenia, które będą potrafiły uczyć się na własnych błędach. Na początku nieporadne, zaczną doskonalić się dzięki kontaktom z ludźmi. Niewykluczone, że będą nawet dysponować systemem typu "ból" i "przyjemność", motywującym je do jednego rodzaju działań i powstrzymującym od innych, niepożądanych poczynań.

Lata 2020-2050: robotyka i mózg

Dziedziną, w której metoda "z góry na dół" nie przyniosła większych sukcesów, jest robotyka, wytwarzanie mobilnych robotów, potrafiących rozpoznawać i omijać przeszkody. Pierwszy mobilny robot o imieniu Shakey został zbudowany w Instytucie Badawczym Stanforda w 1969 roku i przypominał olbrzymią konserwę na kółkach. Wieczko "konserwy" zaopatrzone było w kamery telewizyjne, wysięgniki odległości oraz antenę odbierającą sygnały od stacjonarnego komputera. Shakey potrafił rozpoznawać kształty przedmiotów tylko w specjalnie przygotowanym otoczeniu, a przejście przez pokój zabierało mu kilka godzin. Niestety, prowadzone przez następnych 30 lat prace nad udoskonaleniem Shakeya nie przyniosły oczekiwanych rezultatów.

Jedną z podstawowych wad takiego urządzenia jest brak umiejętności rozpoznawania obrazów. Prymitywne mobilne roboty widzą, ale nie pojmują, co widzą. Obraz pokoju otrzymany dzięki kamerom jest rozbijany na tysiące punktów, które komputer w niezmiernie nudnej procedurze porównuje, punkt po punkcie, z obrazem zachowanym w jego pamięci. Może to trwać od paru godzin do kilku dni. Nawet najlepszy z takich robotów nie mógłby prowadzić samochodu, gdyż czynność ta wymaga błyskawicznego rejestrowania zmian w otoczeniu. A już rozpoznawanie twarzy jest dla niego zadaniem wręcz niewykonalnym. Komputery mają ogromne trudności z rozpoznawaniem nawet znanej im twarzy, gdy jest ona obrócona choćby o parę stopni.

Ludzki mózg potrafi w ciągu ułamków sekund zarejestrować zmiany w otoczeniu oraz odszukać znajomą twarz wśród tysięcy innych.

Niecałe dwa kilogramy neuronów znajdujących się w naszym mózgu to chyba najbardziej skomplikowany obiekt w Układzie Słonecznym. Chociaż możemy wziąć ludzki mózg do ręki i rozdzielić go na poszczególne neurony, mamy bardzo mgliste pojęcie o tym, jak on właściwie działa.

Mózg składa się z kilku warstw, które stanowią świadectwo stopniowej ewolucji tego narządu. Ponieważ Natura jest raczej oszczędna i zwykle zamiast niszczyć niższe formy życia, przetwarza je w wyższe, nasz mózg jest czymś w rodzaju muzeum, w którym przechowywane są dowody jego ewolucji. Zbudowany jest z kilku wyraźnie zaznaczonych, koncentrycznych warstw. Struktury najbardziej prymitywne położone są najgłębiej, a te najbardziej rozwinięte znajdują się na samym wierzchu.

Pierwszą, najgłębszą warstwę mózgu biolog Paul MacLean nazwał ramą układu nerwowego. To ośrodek kontrolujący podstawowe funkcje życiowe: oddychanie, rytm serca, krążenie. Składa się z rdzenia kręgowego, pnia mózgu (rdzeń przedłużony i most) oraz śródmózgowia. U ryb rama tworzy niemal cały mózg.

Rama mózgu otoczona jest węchomózgowiem (prążki węchowe, ciało prążkowane, gałka biała), które kontroluje agresję, poczucie przynależności terytorialnej i świadomość hierarchii społecznej. Warstwa ta występuje u gadów i czasami nazywana jest gadzim mózgiem.

Następną warstwę tworzy układ limbiczny (wzgórze, podwzgórze, ciało migdałowate, przysadka, hipokamp), który występuje u ssaków. Układ ten odpowiada za emocje i zachowania społeczne, ale także za węch i pamięć. W miarę jak ssaki wytwarzały złożone relacje społeczne pomagające im przetrwać, coraz większa część mózgu przekształcała się w ośrodki zawiadujące dynamiką współżycia w grupie.

Ostatnią warstwę stanowi nowa kora mózgowa (podzielona na płaty czołowe, ciemieniowe, skroniowe, potyliczne), która odpowiada między innymi za mechanizmy rozumowania, języka, percepcji przestrzeni. W przeciwieństwie do dość gładkich mózgow innych zwierząt, mózg człowieka jest pofałdowany, co znacznie zwiększa powierzchnię kory mózgowej.

Współczesne roboty, które dysponują jedynie ramą mózgu, znajdują się więc w najprymitywniejszej fazie rozwoju. Muszą przejść jeszcze długą ewolucję, zanim ich możliwości poznawcze, emocjonalne i społeczne osiągną poziom charakterystyczny dla zwierząt wyżej rozwiniętych niż ryby. Nie należy się więc spodziewać, że uczonym uda się w niedalekiej przyszłości wyposażyć roboty w mózgi dorównujące możliwościami mózgowi ludzkiemu.

Miguel Virasoro, dyrektor Międzynarodowego Centrum Fizyki Teoretycznej w Trieście, należy do licznych fizyków kwantowych zafascynowanych architekturą ludzkiego mózgu. Virasoro zyskał międzynarodową sławę w dziedzinie teorii superstrun - na jego cześć fundamentalna symetria w teorii strun nazwana została algebrą Virasoro. Fascynacja sztuczną inteligencją sprawiła, że zajął się badaniem sieci neuronowych i teorią mózgu.¹²⁸

Virasoro wierzy, że w przyszłości mikroprocesory będą przetwarzać informacje równie szybko jak ludzki mózg. Czy to oznacza, że mózg jest komputerem? Obecne komputery przetwarzają informacje szybciej niż mózgi niektórych zwierząt. Typowy komputer, SUN-4, jest w stanie wykonywać około 200 milionów operacji na sekundę. Pod względem szybkości dorównuje on zatem mózgowi węża, zawierającemu 100 tysięcy neuronów. Jeden z najszybszych komputerów na świecie, Cray-3, przetwarza informację z szybkością 100 miliardów bitów na sekundę, czyli mniej więcej w takim samym tempie, w jakim robi to zawierający 65 milionów neuronów mózg szczura.

Dla porównania: uczeni szacują, że ludzki mózg jest w stanie przetwarzać dane z szybkością 100 bilionów bitów na sekundę, czyli około tysiąca razy szybciej niż Cray-3. Ponieważ moc obliczeniowa komputerów będzie nadal podwajać się co 18 miesięcy (jeśli era krzemu nie dobiegnie końca), możemy przewidzieć, kiedy komputery zaczną przetwarzać informacje równie szybko jak nasze mózgi. Jeśli utrzyma się obecny trend, powinno to nastąpić na początku przyszłego wieku, w latach 2010-2030. Około 2040 roku nawet komputery typu desktop powinny

¹²⁸ Miguel Virasoro, wywiad z autorem, czerwiec 1992.

dorównywać szybkością ludzkiemu mózgowi.¹²⁹

W 1996 roku Departament Energii USA podpisał opiewający na sumę 93 milionów dolarów kontrakt z firmą IBM, która zobowiązała się zbudować w 1998 roku najszybszy komputer na świecie. Maszyna ta, wykonując 3 biliony operacji na sekundę, miała przetwarzać jednocześnie 2,5 biliona bajtów informacji -co graniczy już z mocą obliczeniową ludzkiego mózgu.

Virasoro zwraca jednak uwagę, że mózg nie jest maszyną Turinga. W istocie nie jest w ogóle komputerem. Konstruowanie coraz to szybszych komputerów w nadziei odtworzenia możliwości ludzkiego mózgu jest pogonią za mirażem.¹³⁰

Układ połączeń neuronowych w mózgu jest niezwykle skomplikowany. Na mózg składa się niemal 200 miliardów neuronów -jest ich mniej więcej tyle, ile gwiazd w Drozdzie Mlecznej. Wytworzenie impulsów w tym układzie następuje z częstością 10 miliardów razy na sekundę. Choć impulsy nerwowe rozchodzą się z nadzwyczaj małą prędkością około 100 metrów na sekundę (czyli 360 kilometrów na godzinę), mózg kompensuje sobie tę niedoskonałość nadzwyczajną złożonością połączeń równoległych.

Virasoro podkreśla, że każdy neuron łączy się z 10 tysiącami innych neuronów, dzięki czemu mózg działa jak procesor przetwarzania równoległego: w ciągu sekundy zachodzą jednocześnie biliony operacji. A zużycie energii jest nie większe niż w zwykłej żarówce. Gdyby zaś komuś udało się zbudować komputer równie sprawny, jak ludzki mózg, maszyna ta musiałaby być zasilana mocą 100 megawatów. To tyle, ile wynoszą potrzeby całego miasta.

Komputery mogą przetwarzać informację niemal z szybkością światła, ale nie potrafią dokonywać kilku operacji jednocześnie. Ludzki mózg liczy w żółwym tempie, ale rekompensuje sobie tę powolność, przeprowadzając biliony operacji w ciągu sekundy. Dzięki temu, nawet jeśli znaczne obszary mózgu ulegną zniszczeniu, na przykład podczas wylewu krwi, może on dalej pracować, potrafi też odtworzyć pewne funkcje. Natomiast maszyna Turinga natychmiast przestaje działać, jeśli uszkodzony zostanie choć jeden tranzystor. Mózg jest zatem układem bardzo odpornym na uszkodzenia. Według Virasoro, mózg to nadzwyczaj złożona sieć neuronowa.¹³¹ A to właśnie jest jednym z podstawowych założeń szkoły "nauki od zera".

Mówiące roboty

- Aaauuuueehuuuaaaa! - Niskie, prawie nieludzkie wycie wypełnia pokój.

Terry Sejnowski, młody profesor zajmujący się teorią sieci neuronowych, uśmiecha się z widoczną satysfakcją, niczym dumny ojciec, którego dziecko wypowiedziało właśnie po raz

¹²⁹ Daniel Crevier obliczył, kiedy moc obliczeniowa superkomputerów przekroczy możliwości ludzkiego mózgu. W najlepszym przypadku stanie się to w roku 2009, a w najgorszym w 2042 (Crevier: *AI*, s. 303). Wywiad z Crevierem.

¹³⁰ Mózg jest również siecią neuronową i niektórzy uczeni twierdzą, że obwody sieci neuronowej mogą być odtworzone jako maszyna Turinga. Można zatem uznać, że mózg jest bardzo skomplikowaną maszyną Turinga. Jednak takie podejście jest bardzo niezgrabne i nie oferuje żadnych praktycznych wskazówek w badaniach nad mózgiem. O wiele bardziej praktyczne jest rozważanie samych sieci neuronowych.

¹³¹ Jak już wcześniej wspomniano, problem sieci neuronowych włączamy do rozważań o sztucznej inteligencji. Niektórzy jednak sądzą, że badania nad sieciami neuronowymi są zupełnie odrębną dyscypliną.

pierwsze słowo "tata".¹³² Straszny, gardłowy głos dobywa się z maszyny zbudowanej przez Sejnowskiego na Uniwersytecie Johnsa Hopkinsa. To NETalk, sieć neuronowa, która sama przyswaja sobie zasady angielskiej wymowy.

Sejnowski odrzucił metodę "z góry na dół". Cisnął w kąt grube słowniki i programy wypełnione regułami i nużącymi spisami wyjątków fonetycznych. Swoją maszynę wyposażył w nadspodziewanie proste obwody neuronowe. W niemal cudowny sposób NETalk zaczął naukę mówienia po angielsku tak jak my. Popelniając błędy i ucząc się na nich. Żadnych programów, żadnych słowników, żadnych reguł i wyjątków - sama tylko zdolność uczenia się na błędach.

Sejnowski zaczyna typowy pokaz, puszczając NETalkowi taśmę z prostym tekstem (zwykle jest to jakiś dziecięcy wierszyk składający się z około 100 słów). NETalk usiłuje odczytać tekst. Wtedy zaczyna działać reguła Hebba. Układ "czyta" słowo, porównuje wyniki swojego heroicznego wysiłku z tekstem na taśmie i dokonuje niewielkich poprawek w swoich neuronach. Każde połączenie neuronowe, które daje nieco lepszą wymowę, jest wzmacniane. Wprowadzając te poprawki, NETalk coraz wyraźniej odczytuje tekst.

W ten oto sposób NETalk naśladuje dzieci uczące się poprawnie wymawiać słowa. Jeśli dziecku puści się przed snem taśmę z tekstem, będzie ono bez końca powtarzać pewne słowa, powoli doskonaląc wymowę każdego z nich.

"Pierwszą rzeczą, którą odkrywa maszyna, jest różnica pomiędzy samogłoskami i spółgłoskami. Ale ona jeszcze nie wie, co jest czym, więc podstawia w miejsce samogłoski dowolną samogłoskę, a w miejsce spółgłoski dowolną spółgłoskę. Zaczyna paplać bez sensu" - mówi Sejnowski, opisując początkowy etap nauki.¹³³

Sieć neuronowa taka jak NETalk jest zbiorem elektronicznych neuronów naśladującym działanie mózgu. Ilekroć sieć neuronowa dokonuje poprawnego wyboru, w jej obwodach następuje wzmocnienie odpowiedniej konfiguracji neuronów poprzez zmianę wagi każdego z nich. Po każdym błędzie dochodzi do osłabienia danej konfiguracji połączeń.¹³⁴ Po kilku godzinach tego nadzwyczaj powolnego procesu można zauważyć wyraźne polepszenie się wymowy.

"Słyszysz różnicę? - dopytuje się podekscytowany Sejnowski. - On odkrył właśnie przerwy między wyrazami. Zaczyna mówić wiązkami dźwięków, pseudosłowami".¹³⁵

Już w ciągu pierwszego dnia nauki NETalk robi zadziwiające postępy. A na drugi dzień czyta tekst z 98-procentową dokładnością. Po 16 godzinach potrafi przeczytać zdania: "Wracam ze szkoły z kolegami. I lubię wstąpić do domu mojej babci. Ona daje nam cukierki".

Sieci neuronowe muszą, oczywiście, przejść jeszcze długą ewolucję, zanim będą mogły naśladować ludzki mózg. "Różnica między prawdziwym a modelowym neuronem [...] jest taka, jak

¹³² Sejnowski obecnie jest profesorem Uniwersytetu Kalifornijskiego w San Diego.

¹³³ William F. Allman: *Apprentices of Wonder*. Bantam Books, Nowy Jork 1988, s. 2.

¹³⁴ Czynniki wagowymi mogą być, na przykład, wartości rezystancji w poszczególnych obwodach sieci neuronowej. W przypadku poprawnego zadziałania danej konfiguracji jej czynniki wagowe ulegają wzmocnieniu, dzięki czemu rośnie prawdopodobieństwo ponownego wyboru użytego właśnie obwodu. Po działaniu błędnym znaczenie danego obwodu w sieci jest osłabiane, dzięki czemu zmniejsza się prawdopodobieństwo użycia go w przyszłości.

¹³⁵ Allman: *Apprentices of Wonder*, s. 2.

między ręką a szczypcami" - stwierdził fizyk Heinz Pagels.¹³⁶

Ale już sam fakt, że proste sieci neuronowe potrafią nauczyć się mowy, dowodzi, że ludzkie zdolności mogą zostać odtworzone przez układy elektroniczne.

Na styku robotyki i mechaniki kwantowej

Sejnowski należy do licznego grona fizyków usiłujących wykorzystać prawa teorii kwantowej do badania tajemnic mózgu.

Oczywiście, badania mózgu to dziedzina zupełnie różna od fizyki teoretycznej. W fizyce celem jest znalezienie najprostszyc, najbardziej eleganckich rozwiązań problemów podstawowych, takich jak Wielki Wybuch czy jednolita teoria pola. Biologia natomiast jest wysoce nieuporządkowana, nieelegancka i pełna ślepych zaułków. Podczas gdy fizyka opiera się na prawach uniwersalnych, jedyną uniwersalną zasadą uznawaną w biologii jest prawo ewolucji, pełne niekonsekwencji i zadziwiających wyjątków.

"Mnóstwo szczegółów i faktów dotyczących organizacji świata ożywionego w całej historii rozwoju miało charakter przypadkowy. Nie można założyć, że Natura, aby coś osiągnąć, wybiera najkrótszą i najprostszą drogę. Niektóre cechy są pozostałościami wcześniejszych stadiów ewolucji. Zdarza się też, że pewne geny zaczynają nieoczekiwanie pełnić zupełnie inną funkcję niż ta, do której były przeznaczone" - zauważa Sejnowski.¹³⁷

Projektując NETalka, Sejnowski poszedł śladami innego fizyka kwantowego, Johna Hopfielda, który w 1982 roku, zapoczątkował badania nad sieciami neuronowymi. Jego prace przyczyniły się do wzrostu zainteresowania teorią sieci neuronowych.

Wysoki, przystojny i elegancki John Hopfield przypomina raczej dystyngowanego rektora uniwersytetu lub dyrektora poważnej firmy niż fizyka zajmującego się teorią ciała stałego, badacza studiującego tajemnicze tabele, zawierające dane o własnościach kryształów, metali, magnetyków i półprzewodników.

Pod koniec lat siedemdziesiątych Hopfield zaczął uczestniczyć w odbywających się dwa razy do roku w MIT seminariach poświęconych badaniom neurobiologicznym. Wkrótce spostrzegł, że cała dziedzina sztucznej inteligencji jest bezładną mieszaniną interesujących, lecz nie przystających do siebie okruchów wiedzy, pozbawioną jakichkolwiek zasad porządkujących. Hopfield zaczął się zastanawiać, czy w dziedzinie sztucznej inteligencji mogą istnieć, tak jak w fizyce, jakieś ukryte fundamentalne prawa.

W fizyce ciała stałego, która zajmuje się atomami ciasno związanymi ze sobą w strukturze sieci, kilka zasadniczych praw mechaniki kwantowej porządkuje zachowanie się całego układu. Hopfield przeprowadzał badania szkieł spinowych -sieci atomowych, w których atomy mają niezerowy spin (obrazowo: elektrony w atomach wirują). Zadał sobie pytanie, czy atomy uporządkowane w sieci krystalicznej ciała stałego nie mają czegoś wspólnego z neuronami tworzącymi mózg. Czy neuron w mózgu można traktować jak atom w sieci krystalicznej? Wnioski, do jakich doszedł w trakcie

¹³⁶ Heinz R. Pagels: *The Dreams of Reason*. Bantam Books, Nowy Jork 1988, s. 140.

swoich rozważań, przedstawił w opublikowanej w 1982 roku sławnej pracy *“Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities”* (“Sieci neuronowe i układy fizyczne oraz wynikające z ich kolektywności możliwości obliczeniowe”).

Była to rzeczywiście rewolucyjna koncepcja, która zdumiała zarówno badaczy sztucznej inteligencji, jak i fizyków kwantowych. Dotychczas przedstawiciele szkoły “z góry na dół” utrzymywali, że “rozum” jest niesłychanie skomplikowanym programem, któremu potrzebny jest olbrzymi komputer. Hopfield zasugerował, że dzięki mechanice kwantowej inteligencja może pojawić się, bez żadnych programów, wśród bezmyślnych atomów!

“Jednym z ubocznych skutków opublikowania pracy Hopfielda było to, że wielu fizyków teoretyków zajmujących się szklami spinowymi z dnia na dzień zostało ekspertami w dziedzinie sieci neuronowych. Podobnie jak Hopfield, niektórzy z nich zmienili w ogóle kierunek zainteresowań” - pisał fizyk, Heinz Pagels.¹³⁸

Koncepcja Hopfielda przedstawiona w jego przełomowej pracy nie jest wcale taka niedorzeczna, jak mogłoby się w pierwszej chwili wydawać. W ciele stałym każdy atom obdarzony spinem może istnieć w kilku odrębnych stanach, na przykład może mieć spin w górę lub w dół. Także neuron może znajdować się w różnych stanach: pobudzonym lub nie pobudzonym. Istnieje podstawowe prawo, które określa, jaki stan jest dla układu najkorzystniejszy: atomy (dokładniej: spiny) ustawiają się tak, żeby całkowita energia układu była jak najmniejsza. Hopfield doszedł do wniosku, że sieć połączeń neuronowych -podobnie jak ciało stałe, które stara się znaleźć stan o najniższej energii - również minimalizuje swoją energię.

Dzięki Hopfieldowi w badaniach nad sztuczną inteligencją nastąpił prawdziwy przełom. Po raz pierwszy sformułowana została ogólna zasada umożliwiająca zrozumienie funkcjonowania sieci neuronowych. Wykorzystując reguły mechaniki kwantowej, Hopfield odkrył prawa rządzące działaniem tych sieci: wszystkie neurony w mózgu powinny wytwarzać impulsy w taki sposób, żeby minimalizować energię całej sieci. Uczenie się jest procesem odnajdowania stanu o najniższej energii.

“Zawsze wiedzieliśmy, że sieci neuronowe działają, ale dopiero Hopfield wyjaśnił nam, dlaczego tak się dzieje. To bardzo ważne odkrycie. Dzięki niemu staliśmy się wiarygodni” - mówi Jim Anderson z Uniwersytetu Browna.¹³⁹

Powstał nowy obszar poszukiwań naukowych, a fizycy dołączyli do awangardy badaczy zajmujących się teorią sieci neuropodobnych. Hopfield odkrył jedno z uniwersalnych praw rządzących funkcjonowaniem tych sieci. Miało to równie przełomowe znaczenie, jak odkrycie dokonane przez brytyjskiego matematyka Alana Turinga, który uchwycił istotę uniwersalnego komputera. Dzięki Hopfieldowi teoria sieci neuronowych zaczęła się cieszyć ogromnym zainteresowaniem.¹⁴⁰

¹³⁷ Allman: *Apprentices of Wonder*, s. 179.

¹³⁸ Pagels: *The Dreams of Reason*, s. 130.

¹³⁹ Allman: *Apprentices of Wonder*, s. 81.

¹⁴⁰ Do podjęcia badań nad sieciami neuronowymi przyczyniło się nie tylko odkrycie dokonane przez Hopfielda. Kolejnym krokiem było odkrycie “propagacji wstecznej” wpływającej na usprawnienie komunikowania się neuronów w ramach sieci

Istotę koncepcji Hopfielda można wyjaśnić za pomocą prostego przykładu. Wyobraźmy sobie piłkę toczącą się w dół zbocza pełnego rozpadlin, wklęsłości i wypukłości. Oczywiście, piłka wpadnie w końcu w jakieś zagłębienie. Inaczej mówiąc, piłka szuka sobie miejsca, w którym jej energia grawitacyjna osiągnie najniższą wartość. Wyobraźmy sobie teraz, że wszystkie możliwe stany neuronów w mózgu tworzą wspólnie strukturę przypominającą taki właśnie górzysty teren. Każdemu punktowi w tym krajobrazie przypisujemy pewien układ "współczynników wagowych" odpowiadających poszczególnym neuronom sieci. (Badamy ten "teren" w N -wymiarowej przestrzeni). Współczynniki wagowe zmieniają się tak, jak zmienia się położenie toczącej się w dół zbocza piłki, która zmierza ku stanowi o najniższej energii. Spadająca piłka jest metaforą złożonego procesu uczenia się. Hopfield dowiódł, że chociaż z matematycznego punktu widzenia opis sieci neuropodobnych jest bardzo trudnym zadaniem, ogólna zasada funkcjonowania tych sieci jest równie prosta, jak prawo rządzące ruchem toczącej się po zboczu piłki!

Hopfield kontynuował swoje badania i odkrył, że sieci neuropodobne odtwarzają nadszpiewanie dokładnie prawdziwe funkcje mózgu. Okazało się, na przykład, że po usunięciu nawet pokaźnej liczby neuronów sieć zachowuje się w prawie niezmienny sposób: geometria wklęsłości się nie zmienia. Doliny w górzystym terenie sieci są odpowiednikami pamięci lub wspomnień. Podobnie jak prawdziwa pamięć w mózgu, która może zostać zachowana nawet po utracie milionów komórek nerwowych, wgłębienia w sieci neuronowej zapewniają jej wystarczającą stabilność w przypadku uszkodzenia części neuronów. Zagłębienia w przestrzeni energii sieci nie są jednak zlokalizowane w jednym miejscu mózgu, lecz rozrzucone po całym układzie.

Model stworzony przez Hopfielda umożliwił też dokonanie naukowej interpretacji obsesji. Czasami, jeśli sieć neuronowa nie była starannie przygotowana, kilka sąsiadujących ze sobą zagłębień łączyło się w jedną rozległą dolinę. To tu właśnie zatrzymywała się za każdym razem tocząca się po zboczu piłka. Powstawanie obsesji można tłumaczyć analogicznym zjawiskiem. Na koniec Hopfield dokonał najdziwniejszego i najbardziej zdumiewającego odkrycia: zauważył, że jego sieci neuronowe zaczęły śnić!

Czym są marzenia senne?

Dlaczego śnimy? Mistycy sądzili, że sny są przepowiedniami przyszłych wydarzeń. Zygmunt Freud twierdził, że są one oknem do podświadomości. Objawiają nasze ukryte pragnienia, stłumione popędy oraz wyparte "id".

Obecnie istnieje tyle teorii snów, ile szkół w psychologii. Żadna z nich nie jest jednak poparta empirycznymi dowodami.

Psychologowie odkryli, że sny są niezwykle ważne dla naszego dobrego samopoczucia. Jeśli jesteśmy budzeni za każdym razem, kiedy zaczyna się marzenie senne, stajemy się rozkojarzeni i drażliwi, chociaż w sumie przespaliśmy wiele godzin. (Marzenia senne u osoby badanej można przerywać dokładnie w momencie ich pojawiania się, śledząc powstawanie fal alfa na

elektroencefalogramie¹⁴¹ oraz ruchy gałek ocznych odpowiadających stadium REM¹⁴². W ten sposób odkryto, że również inne ssaki mają marzenia senne).

Zdaniem Hopfielda sny są stanami energii fluktuującej w układach kwantowomechanicznych. Uczony ten odkrył, że zaproponowane przez niego sieci neuropodobne odtwarzają wiele właściwości marzeń sennych. Wiadomo, na przykład, że po serii wyczerpujących przeżyć odczuwamy potrzebę snu i śnienia. Hopfield zauważył, że jeżeli obdarzymy sieć neuropodobną zbyt wieloma wspomnieniami (wgłębieniami), przeładowany układ zaczyna źle funkcjonować. Oznacza to, że czas docierania do pewnych rejonów pamięci staje się niezmiernie długi. W i tak już nierównym zboczu zaczynają pojawiać się niepożądane przeszkody, nie związane z żadnymi prawdziwymi wspomnieniami. Te nierówności nazywane są nieprawdziwymi wspomnieniami i odpowiadają marzeniom sennym. W przeciwieństwie do prawdziwych wgłębień nie odpowiadają one żadnym zdarzeniom z przeszłości, lecz są elementami stworzonymi z już istniejących w pamięci wspomnień.

Aby zlikwidować te nieprawdziwe wspomnienia, Hopfield zaburzał układ, zmieniając ukształtowanie powierzchni zbocza (piłka wydostawała się z zagłębienia terenu, w które wpadła, i toczyła się dalej w dół). Następnie układ ponownie szukał sobie stanu o jak najniższej energii. Hopfield twierdzi, że sytuacja ta jest odpowiednikiem ponownego zaśnięcia. Po kilku epizodach marzeń sennych i snu układ "budził" się "wypoczęty", tzn. przestawał się zacinać i szybko przypominał sobie wszystko, co było mu potrzebne. Jeśli Hopfield ma rację, wszystkie sieci neuronowe, mechaniczne i ożywione, muszą śnić, aby porządkować swoje wspomnienia. Kiedy sieć neuronowa jest przeciążona, zaczyna się zachowywać nienormalnie i tworzy urojone wspomnienia, czyli sny składające się z przypadkowych fragmentów i okruszków pamięci. Układ musi "się przespać", żeby usunąć te fałszywe wspomnienia, czyli marzenia senne.

Hopfield sądzi, że nieprawdziwe wspomnienia nierozzerwalnie łączą się z przebiegającymi w mózgu procesami kreatywnymi: "To jest właśnie sposób na stworzenie jakiegoś nowego rodzaju zachowania, który czasami zwiemy oryginalnością".¹⁴³

Do grona fizyków kwantowych, zajmujących się badaniem sieci neuropodobnych, należy także Leon Cooper, noblista z Uniwersytetu Browna. Jest on założycielem firmy Nestor na Rhode Island, sprzedającej urządzenia działające na zasadzie sieci neuronowych. Cooper wskazuje, że maszyny konstruowane przez zwolenników metody "z góry na dół" nie potrafią nawet odczytać pisanych ręcznie liczb na pokwitowaniach wpłat dokonywanych za pomocą karty kredytowej. "Problem nie polega na tym, że nie można zbudować takiego urządzenia. Można, ale to tak, jakby skonstruować samochód o napędzie nożnym. To po prostu nie ma sensu" - mówi Cooper.¹⁴⁴

Teoria sieci neuronowych znalazła już swoje pierwsze komercyjne zastosowanie. Wykorzystano ją przy budowie wykrywacza bomb, skonstruowanego na zamówienie linii lotniczych. Urządzenie to

¹⁴¹ Również fal innych częstości (przyp. red.).

¹⁴² Nazwa ta pochodzi od ang. *rapid eye movement* (przyp. red.).

¹⁴³ Allman: *Apprentices of Wonder*, s. 99.

¹⁴⁴ "New York Newsday", 22 stycznia 1991, s. 65.

wyszukuje pewne rodzaje związków chemicznych zawartych w materiałach wybuchowych (plastyk), których nie można odkryć za pomocą promieni rentgenowskich.

Najpierw bagaż poddaje się promieniowaniu wiązki neutronów. Część neutronów absorbowana jest w materiale wybuchowym i powoduje emisję charakterystycznego promieniowania gamma. Sieć neuronowa (wyposażona w detektory) rozpoznaje obraz i może wszcząć alarm.

W przeciwieństwie do tradycyjnych komputerów opisane powyżej urządzenie nie zostało zaprogramowane. "Układ jest raczej wyćwiczony niż zaprogramowany" - mówi Barbara Yoon, szef działu programów technik sztucznej inteligencji w Komisji ds. Obronnych Projektów Badawczych.

Uczeni analizują również możliwości przyszłych zastosowań sieci neuronowych w innych dziedzinach, takich jak:

- identyfikacja pisma ręcznego
- wykrywanie, na podstawie znajomości zwyczajów właściciela, wypłat dokonywanych cudzą kartą kredytową
- rozpoznawanie obrazów na ekranach sonarów i radarów
- analiza długów hipotecznych
- identyfikacja układów krwinek (już stosowana do ustalania rodowodu koni rasowych).

Teoria sieci neuronowych przybliżyła nas również do rozwiązania problemu rozpoznawania obrazów. Strategia "nauki od zera" wykorzystuje proste, wzorowane na naturze rozwiązanie, na przykład modelowanie oczu zwierząt. Oko zwierzęcia, zamiast porównywać miliony punktów, z których składa się zarejestrowany obraz, z jego zachowaną w pamięci kopią, skupia się tylko na pewnych najważniejszych cechach: ruchu, kształcie, barwie itp.

Oko żaby, na przykład, rejestruje wszelkie gwałtowne ruchy. Żaba natychmiast dostrzega przelatującą nieopodal muchę. Wiadomo jednak, że można łatwo schwytać żabę, wyciągając powoli rękę w jej kierunku, nawet jeśli będziemy stali tuż przed nią. W ten sposób oszukujemy detektory ruchu w mózgu żaby. Godnym uwagi jest fakt, że w oku żaby już sama siatkówka ma zdolność rozpoznawania ruchu przedmiotów. Komórki siatkówki mają wbudowany "detektor owadów".

Carver Mead, naukowiec z Caltech, osiągnął spore sukcesy, modelując siatkówkę oka żaby za pomocą krzemowej siatkówki - sieci neuronowej zaopatrzonej w fotoreceptory, która, podobnie jak komórki w oku żaby, reaguje na ruch. Mead był pierwszym uczonym, któremu udało się umieścić neuronową sieć Hopfielda na płycie krzemowej. Korzystając z tranzystorów i standardowych urządzeń do produkcji mikroprocesorów, zbudował mikroprocesor z 22 neuronami, będący urzeczywistnieniem idei Hopfielda.¹⁴⁵ "Wystarczy zamontować soczewki i urządzenie zacznie »widzieć« - twierdzi Mead. - Może wyliczać, po jakiej trajektorii poruszają się przedmioty. Oczywiście, jest to tylko jedna z czynności, które wykonuje siatkówka, ale czynność bardzo ważna. A poza tym, jest to coś, czego nie można osiągnąć za pomocą konwencjonalnych komputerowych systemów widzenia. Po prostu nie można! Nie zdołają tego dokonać nawet podłączone do kamer

telewizyjnych superkomputery. Właśnie dlatego zająłem się ruchem - oni [ludzie ze szkoły »z góry na dół«] nie mają szansy rozwiązać tego problemu".¹⁴⁶ Uczonym udało się także odtworzyć sposób, w jaki obrazy rozpoznawane są w mózgu pszczoły. Chociaż jej mózg zawiera tylko milion neuronów (około 100 tysięcy razy mniej niż mózg człowieka), pracuje mniej więcej tysiąc razy szybciej niż obecne komputery. Biolodzy odkryli, że pewne komórki mózgu pszczoły, nazywane VUMmx1, dysponują połączeniami, które są aktywowane w chwili, kiedy pszczoła natyka się na cukier lub zapach. Po dłuższym buszowaniu wśród kwitnących kwiatów w mózgu pszczoły pojawia się asocjacja zapachu kwiatu i nagrody w postaci nektaru. W ten sposób pszczoła uczy się, które z kwiatów są dla niej najhojniejsze. Terry'emu Sejnowskiemu udało się stworzyć sieć neuronową funkcjonującą podobnie jak mózg pszczoły. Okazało się nawet, że upodobania jego sztucznej pszczoły są takie same jak prawdziwych owadów.¹⁴⁷

Cog

Rodney Brooks z MIT, twórca insektoida Attili, skonstruował również androida o imieniu Cog, robota rzeczywiście przypominającego nieco człowieka.¹⁴⁸

Na pierwszy rzut oka Cog podobny jest trochę do androidów pojawiających się w filmach fantastycznonaukowych, na przykład do robota granego przez Arnolda Schwarzeneggera w *Terminatorze* (to, w jaki sposób jest on zbudowany, widać po spaleniu zewnętrznej powłoki pod koniec filmu). U pozbawionego skóry Coga wszystkie mechaniczne części są dobrze widoczne. Zamiast mięśni ma on miniaturowe silniczki, zamiast kości - metalowe sztabki, a zamiast oczu - kamery wideo. Wyposażony w długie ramię ze szczypcami na końcu, może wykonywać wiele różnych czynności.

Wysoki niemal na metr Cog nie ma nóg. "Cierpi na paraplegię" - przyznaje Brooks. Android może jednak wykonywać ruchy tułowiem, głową i rękami, podobnie jak człowiek.¹⁴⁹ Jeśli włączy się go rano, porusza głową i ramieniem jakby się przeciągał. (W rzeczywistości określa swoje położenie w przestrzeni).

"Mózg", którym dysponuje Cog, składa się z ośmiu 32-bitowych mikroprocesorów 68332 Motoroli (16 MHz), zmodyfikowanych na potrzeby sieci neuronowej, połączonych w sposób przypominający wzór połączeń neuronowych w naszym mózgu. Docelowo mózg Coga ma zawierać 239 mikroprocesorów. Robot nie jest zaprogramowany, gdyż nie jest on maszyną Turinga. Podobnie jak inne urządzenia przyswajające wiedzę od zera, Cog uczy się tak, jak robi to dziecko.

Umysł nowo narodzonego dziecka jest niczym czysta, niezapisana karta. Dopiero gdy niemowlę nauczy się chwytać przedmioty i wymachiwać nimi, uświadamia sobie, że jego kończyny połączone są z resztą ciała i powoli zaczyna zdawać sobie sprawę z trójwymiarowości otaczającego je świata. Następnie, dzięki kontaktom z ludźmi, zdobywa różne niezbędne

¹⁴⁵ Allman: *Apprentices of Wonder*, s. 146.

¹⁴⁶ *Ibidem*, s. 147.

¹⁴⁷ Peter Coveney, Roger Highfield: *Frontiers of Complexity*. Ballantine Books, Nowy Jork, s. 262.

¹⁴⁸ Wywiad z Rodneyem Brooksem.

¹⁴⁹ *Ibidem*.

umiejętności.

Cog również uczy się najpierw chwycić przedmioty, stosując metodę prób i błędów. Wyciąga ramię i usiłuje dotknąć jakiegoś przedmiotu. W końcu udaje mu się uchwycić go i przytrzymać. Zamiast korzystać z zaprogramowanych danych tworzy w ten sposób własną mapę świata.

Od ludzi Cog uczy się w mniej więcej taki sam sposób, jak dziecko uczy się od matki. Umie rozpoznawać ludzi i patrzeć im w oczy. (Oczy robota zostały tak zaprojektowane, żeby ludziom łatwo było wymieniać z nim spojrzenia). Dzięki kontaktowi wzrokowemu "matka" może uczyć Coga wykonywania coraz to trudniejszych zadań. Wykonawszy jakąś czynność, rzuca "dziecku" spojrzenie. W ten sposób robot dowiaduje się, że teraz jego kolej. Kiedy zrobi swoje, spogląda na "matkę". Ta wymiana spojrzeń trwa dopóty, dopóki Cog nie nauczy się swojej lekcji. Prace nad androidem są wciąż jeszcze w stadium eksperymentu. Android dysponuje mniejszym zasobem wiadomości niż dwuletnie dziecko.

Cog jest całkowitym przeciwieństwem Cyca Douglasa Lenata. Pierwszy z nich uczy się od zera, a drugi jest wyposażony w zaprogramowany przez naukowców zdrowy rozsądek. (Istnieje coś w rodzaju przyjaznej rywalizacji między tymi dwoma przeciwstawnymi szkołami. Brooks chciał nawet nadać swojemu androidowi imię Psych! tylko po to, by zirytować Lenata).¹⁵⁰, ¹⁵¹

Przypuszcza się, że androidy takie jak Cog i programy takie jak Cyc pozostaną w fazie eksperymentalnej do połowy XXI wieku. Za jakieś 40 lat powinno dojść do połączenia szkół "z góry na dół" i "nauki od zera". Dopiero wówczas pojawią się pierwsze samodzielnie myślące roboty. Zdaniem Moraveca proces ten będzie przebiegał etapami.

W latach 2020-2030 roboty będą ćwiczyć swoją wyobraźnię. Zostaną wyposażone w umiejętność symulowania zadania, które mają wykonać. Roboty te będą mogły wyobrazić sobie świat i przewidywać konsekwencje swoich poczynań. Robot będzie wielokrotnie symulował w swoim mózgu możliwe wyniki działania, zanim przystąpi do wykonania jakiejś czynności, na przykład do przyrządzenia posiłku albo do przejścia przez ulicę. Aby osiągnąć ten poziom wyobraźni, robot musi uczyć się od zera (dzięki czemu zyska efektywność w interakcjach ze światem zewnętrznym) i przyswajając wiedzę metodą "z góry na dół" (co ułatwi mu tworzenie abstrakcyjnych modeli otoczenia). Do 2030 roku roboty powinny osiągnąć poziom inteligencji małej.

Pomiędzy 2030 a 2040 rokiem powinno nastąpić zjednoczenie obu szkół. Zdaniem Moraveca, wtedy właśnie pojawią się roboty obdarzone rzeczywistą zdolnością rozumowania. Przy astronomicznej szybkości wzrostu mocy obliczeniowej komputerów stosowanie metody "z góry na dół" powinno zaowocować pojawieniem się robotów o zdolnościach rozumowania znacznie przekraczających możliwości człowieka. Ostateczna unifikacja nastąpi wtedy, kiedy uczeni nauczą się krzyżować te nadludzkie możliwości wnioskowania ze zdolnością poruszania się w rzeczywistym lub symulowanym świecie. Połączenie tych dwu umiejętności to "kombinacja, dzięki

¹⁵⁰ "Time", 25 marca 1996, s. 57.

¹⁵¹ CYC i Psych są w języku angielskim wymawiane podobnie (przyj.

której powstanie istota pod pewnym względem przypominająca nieco nas samych, ale pod innymi względami niepodobna do żadnego innego stworzenia na świecie" - przewiduje Moravec.¹⁵²

Uczucia robotów?

Okolo 2050 roku będą już zapewne istniały roboty potrafiące komunikować się z ludźmi, okazujące najprostsze uczucia, rozumiejące mowę i obdarzone pewną dozą zdrowego rozsądku. Będziemy mogli porozumiewać się z nimi, a nawet prowadzić dość interesującą konwersację. Uczucia i zdrowy rozsądek ułatwią maszynom funkcjonowanie w nowoczesnym społeczeństwie i nawiązywanie kontaktu z ludźmi. Nasza więź z robotami stanie się silniejsza.

Najważniejsze jednak, by roboty nauczyły się rozpoznawać i rozumieć uczucia swoich właścicieli. Mechaniczni lokaje powinni chronić nas przed nieproszonymi gośćmi i natrętnymi petentami, uprzejmie odmawiając spełnienia ich próśb lub wymyślając niewinne kłamstwa. Mechaniczne sekretarki powinny wiedzieć, które spotkania są dla nas ważne, a które nie. Mechaniczni służący powinni umieć rozpoznać, kiedy zaczynamy zachowywać się w sposób irracjonalny. Roboty nie tylko będą znały zwyczaje swoich właścicieli, ale nauczą się również wybierać najkorzystniejsze dla nich rozwiązania.

Taka wizja przyszłości różni się znacznie od stereotypowych wyobrażeń hollywoodzkich scenarzystów. Filmowe roboty mają metaliczny, monotony głos, nie potrafią kochać, zachwycać się pięknem zachodzącego słońca czy z zadumą wpatrywać się w nieskończoność kosmosu. Niektórzy ludzie twierdzą, że roboty nie są niczym innym jak stertą żelastwa i drutów. To właśnie uczucia odróżniają nas od tych metalowych stworów. I właśnie dlatego Błaszany Drwal chciał mieć serce.

Z punktu widzenia sztucznej inteligencji skonstruowanie robota potrafiącego doznawać rozmaitych uczuć jest zadaniem trudnym, ale wykonalnym. Uczucia i emocje wykształciły się w trakcie ewolucji po to, żeby zwiększyć nasze szanse przeżycia. To właśnie uczucia sprawiają, że wybieramy pewne formy działania, a odrzucamy inne.

Jednym z takich uczuć jest "lubienie". Oświadczenie typu: "lubię jabłka" zawęża nieskończony zbiór możliwości do określonego rodzaju pożywienia. Skupia to naszą uwagę na kilku pożądanym zachowaniach, które zwiększają szanse przeżycia. Nic więc dziwnego, że ludzie lubią zazwyczaj te rzeczy, które uznali za dobre dla siebie i które pozwalają im przetrwać. "Polubienie swojego zajęcia oznacza odrzucenie innych możliwości. Praca niezaprzeczalnie wyznacza ramy naszego świata" - twierdzi Minsky.¹⁵³

Niezwykle istotnym uczuciem jest miłość, gdyż tworzy ona więź między partnerami, a tym samym zwiększa szanse na sukces reprodukcyjny.

Moravec przewiduje, że w przyszłości roboty będą "kochać" swoich właścicieli. "Kiedy przyniesiesz nowego robota do domu, on zaraz zrozumie, że jesteś jego panem i że powinien dbać o ciebie tak, żebyś był zadowolony. [...] Będzie obserwował, jak oceniasz jego poczynania. Zechce

¹⁵² Charles Sheffield, Marcelo Alonso, Morton A. Kapłan: *The World of 2044*. Paragon House, St. Paul 1994, s. 33-34.

uszcęśliwić cię w całkowicie bezinteresowny sposób, ponieważ twoje szczęście będzie dla niego najważniejsze. Pomyślisz, że jest to rodzaj miłości" - zapewnia Moravec.¹⁵⁴

Innym ważnym uczuciem jest zazdrość, która kieruje uwagę na Potencjalnych rywali zabiegających o względy naszego partnera, Duże znaczenie ma również gniew, za pomocą którego ostrzegamy innych przedstawicieli gatunku, że czegoś naprawdę nie lubimy.

Strach jest czynnikiem wpływającym na nasze zachowanie w specyficzny (zazwyczaj korzystny) sposób. Robota można zaprogramować tak, żeby zaczął się "bać", kiedy jego źródła zasilania będą na wyczerpaniu. "Kiedy baterie zaczną się wyczerpywać, pojawi się niepokój, nawet panika i inne sygnały czytelne dla ludzi - mówi Moravec. - Robot może nawet pobiec do sąsiadów i błagać, żeby pozwolili mu podłączyć się na chwilę do kontaktu: »Bardzo państwa proszę! Ja tak tego potrzebuję, to takie ważne, a tak niewiele kosztuje. My wam to zwrócimy!«".¹⁵⁵

Całkowicie odmiennym typem reakcji emocjonalnej, ewolucyjnie nader pożądanym, jest śmiech. Śmiech jest cenzorem, wytyczającym granice dopuszczalnych form zachowania. Pomaga wyeliminować poczynania niebezpieczne lub zabronione. Niektóre wulgarne kawały są zabawne, ponieważ dotyczą takich właśnie zabronionych działań. Śmiech stanowi mechanizm, który pozwala zidentyfikować niepożądane typy zachowań. Seks, żeby posłużyć się przykładem, jest nader istotny dla przetrwania gatunku. Społeczeństwa wytworzyły jednak nadzwyczaj wiele reguł cenzurujących formy zachowania seksualnego. Każdy człowiek uczy się ich przez wiele, wiele lat. To właśnie dlatego niedoświadczone nastolatki należą do najbardziej zachłannych słuchaczy dwuznacznych dowcipów.

Nowy, niepożądany typ zachowania przestaje być tematem dowcipów w momencie, w którym zostaje oficjalnie zaliczony do kategorii działań zabronionych.

Nawet zabawa ma istotne znaczenie ewolucyjne. Każdy, kto kiedykolwiek obserwował bawiące się dzieci, musiał zauważyć, że starają się one naśladować dorosłych. Reguły zachowania obowiązujące w społeczeństwie dorosłych są bardzo skomplikowane, wszak tworzyły się tysiące lat. Dziecięce zabawy, w których zawarta jest niewielka porcja reguł gry społecznej, są jak pigułki pozwalające łatwiej przelknąć całą tę wiedzę. Właśnie dlatego dzieciaki bawią się w policjantów i złodziei, lekarza, nauczyciela itd.

Oczywiście, dzieci nie zdają sobie z tego wszystkiego sprawy. Zapytałem kiedyś pewną dziewczynkę, dlaczego bawi się w nauczycielkę. Czy zabawa ta pomaga jej zrozumieć skomplikowany proces uczenia się w szkole? Spojrzała na mnie, jakbym spadł z Księżyca, i odparła: "Zabawa to zabawa. Bawię się to, bo tak mi się podoba". Wyglądała na bardzo zadowoloną siebie, jakby udzieliła mi najbardziej wyczerpującego wyjaśnienia.

Zaprogramowanie robota, który potrafiłby doznawać uczuć, jest rzeczą trudną, ale nie niemożliwą. Jak można to zrobić? Uczeń nadają pewnym rodzajom zachowania określone współ-

¹⁵³ Marvin Minsky: *The Society of Mind*. Simon & Schuster, Nowy Jork 1985, s. 94.

¹⁵⁴ Crevier: *AI*, s. 266. Wywiad.

¹⁵⁵ *Ibidem*, s. 267.

czynniki liczbowe. Zetknąwszy się z niebezpieczeństwem, robot powinien przyporządkować mu liczbę ujemną i unikać w przyszłości podobnych sytuacji. Kiedy spotka go przyjemność (na przykład nowe baterie), powinien przyporządkować temu stanowi liczbę dodatnią i starać się go utrzymywać. Odpowiedź na bodziec powinna być zaprogramowana w taki właśnie sposób. Tak jest zresztą u ludzi: mięśnie twarzy rozciągają się w uśmiechu, nogi naprężają się do ucieczki, ręce zginają się do walki, brwi unoszą się ze zdziwienia lub ściągają ze złości.

Antropolodzy badający stany emocjonalne naczelnych odkryli, że również małpy człekokształtne wyrażają uczucia za pomocą złożonych gestów, mimiki twarzy i ruchów kończyn. Widziałem kiedyś w muzeum techniki model głowy goryla użyty w jednym z filmów wyprodukowanych w Hollywood. Pociągając za specjalne dźwignie, można było naprężać mięśnie twarzy goryla, która wyrażała raz zaskoczenie, raz złość, a raz błogość, jakby należała do żywej istoty. Poruszałem dźwigniami, a dzieci, które zgromadziły się w pobliżu, popiskiwały i krzyczały radośnie na widok goryla śmiejącego się, chichoczącego lub strojącego głupkowate miny. W pewnym momencie goryl zaczął wyglądać na rozwścieczonego, obnażył kły, jego oczy się zwężyły, a nozdrza rozszerzyły. Dzieciaki zaczęły piszczeć i przerażone uciekły.

Sam też przeżyłem szok: oto z paru kawałków gumy, plastyku i przewodów stworzono twarz zdolną wyrażać prawdziwe uczucia. Niewielkie poruszenie paru atrap mięśni twarzy wywołało przerażenie u innych.

Mamy ograniczoną władzę nad naszymi uczuciami, gdyż ewolucyjnie są one zakodowane głęboko w układzie limbicznym naszego mózgu. Poddajemy się uczuciom nieświadomie, bez udziału procesów myślowych. Mowa i język zrodziły się przed kilkuset tysiącami lat, ale mowa ciała, zwłaszcza mimika twarzy, wywodzi się z pradawnych czasów, z okresów poprzedzających pojawienie się małp. Przez miliony lat, zanim powstały struny głosowe i mowa, wyraz twarzy był głównym sposobem porozumiewania się. Stworzenie mechanizmów zmieniających wyraz twarzy robota nie powinno być bardzo trudne. Ale czy roboty będą rzeczywiście rozumiały okazywane uczucia? Ich doznania są wszak bardzo powierzchowne. Narzuca się więc pytanie: czy roboty mogą być świadome własnego istnienia?

Po roku 2050: świadomość robotów

Okolo 2050 roku można spodziewać się powstania układów sztucznej inteligencji obdarzonych pewną dozą uczuciowości. Do tego czasu systemy inteligentne staną się już dość powszechne. To dzięki nim ożyje wiele przedmiotów w naszym otoczeniu. Równocześnie Internet przejdzie głęboką ewolucję, stając się prawdziwym czarodziejskim zwierciadłem, które nie tylko pomoże nam korzystać z bazy danych całej ludzkiej wiedzy, ale będzie też z nami gawędzić i opowiadać dowcipy. (Niektórzy eksperci w dziedzinie sztucznej inteligencji twierdzą, że może to doprowadzić do wzrostu zainteresowania magią i przesądami. Ludzie żyjący na zalanej inteligentnymi układami planecie mogą zacząć wierzyć, podobnie jak ich średniowieczni przodkowie, że świat rządony jest przez siły tajemne).

Ale czy owe inteligentne układy będą zdawać sobie sprawę z tego, czym są? Czy posiadają zdolność planowania i wyznaczania celów? Czy będą miały świadomość? Są to pytania, na które dziś jeszcze nie potrafimy jednoznacznie odpowiedzieć, jako że nikt nie sformułował dotychczas przekonującej definicji świadomości. Każdy z nas definiuje ją na swój sposób.

Teologowie chrześcijańscy uważali duszę za coś niezależnego od świata materialnego, coś, co istnieje nawet po śmierci. Religia chrześcijańska, ze swoim szczegółowo opracowanym systemem nagród i kar za grzechy oraz obietnicą życia wiecznego, głosi rozdzielność ciała i ducha.

Myśliciele Wschodu rangę świadomości duchowej nadali umysłowi. Oto opowieść o trzech buddyjskich mnichach zen spoglądających na flagę łopoczącą nad świątynią:

- Chorągiew porusza się - mówi pierwszy mnich.
- Nie - oponuje drugi - to wiatr się porusza.
- To nasz umysł jest w ruchu - prostuje trzeci mnich.

Innymi słowy, religie Wschodu nie oddzielają ciała od umysłu, ale podkreślają ich harmonię i jedność, dzięki którym możliwe staje się osiągnięcie wyższego stanu świadomości duchowej w ramach świata materialnego.

Wielu naukowców, którzy poświęcili swoje życie na budowanie maszyn myślących, twierdzi, że stworzenie pewnej formy świadomości w laboratorium jest tylko kwestią czasu.

Naukowcy badający sztuczną inteligencję są przekonani, że myślące maszyny już istnieją i noszą nazwę istot ludzkich. Niektórzy z badaczy sądzą, że sieci neuronowe już obecnie wytworzyły pewien rodzaj świadomości. Najlepszym przykładem takiej sieci jest ludzki mózg. Większość uczonych zajmujących się sieciami neuronowymi sądzi, że świadomość jest zjawiskiem, które wyłania się samoistnie, tzn. pojawia się w sposób naturalny, jeśli tylko układ jest wystarczająco złożony. Innymi słowy, całość to więcej niż suma części. Ale teoria, która głosi, że świadomość jest wynikiem niezwykle złożoności układu, niczego w gruncie rzeczy nie wyjaśnia. Nawet najbardziej żarliwi zwolennicy koncepcji "wyłaniania się" przyznają, że mówi ona wszystko i nic - nie wskazuje nowych rejonów badań, nie tworzy nowych idei i nie odkrywa nowych dróg. Jest raczej aktem wiary niż strategią sukcesu.

Istnieje też grupa uczonych, którzy twierdzą, że problem świadomości został już rozwiązany. Daniel Dennet, filozof z Uniwersytetu Tufts, napisał nawet książkę o (może przedwczesnym) tytule *Consciousness Explained* (*Świadomość wyjaśniona*). Zadaniem Herberta Simona, laureata Nagrody Nobla w dziedzinie ekonomii, ale także eksperta w zakresie sztucznej inteligencji, myślenie jest czymś więcej niż tylko zbiorem reguł, które programiści wpisują w pamięć robotów. "Czy ludzkie procesy myślenia są heurystyczne? - pyta Simon. - Sądzę, że tak".¹⁵⁶

Marvin Minsky twierdzi, że zagadka świadomości jest banalna i że udało mu się ją rozwiązać.¹⁵⁷ W swojej książce *The Society of Mind* (*Spółeczność umysłu*) wyraża pogląd, że świadomość tworzy się w trakcie oddziaływania pomiędzy wieloma mniejszymi częściami, z których każda jest

¹⁵⁶ "Discover", czerwiec 1996, s. 50.

¹⁵⁷ John Horgan: Marvin L. Minsky: Mistrz duchowy sztucznej inteligencji, "Świat Nauki", styczeń 1994, s. 17.

pozbawiona rozumu. W tym schemacie nie ma miejsca na "siedlisko świadomości", którego niegdyś poszukiwano. Żadne nadprzyrodzone siły nie kierują przebiegiem zachodzących w mózgu procesów. Świadomość pojawia się po prostu w następstwie złożonych interakcji pomiędzy nieświadomymi niczego podukładami. "Jak dotąd, najlepiej tłumaczyły to teorie Freuda - konkluduje Minsky. - Oczywiście, nie licząc moich. Ale o ile mi wiadomo, nikt jeszcze nie przeczytał mojej książki" - przyznaje w końcu.

Obrazy tomografii pozytonowej aktywnego mózgu zdają się potwierdzać to, co mówi Minsky. Śledząc rozbłyśki światła w mózgu, związane ze zużyciem glukozy i uwalniającą się w tej reakcji energią, badacze stwierdzili, że świadomość tworzy się w wielu różnych strukturach mózgu i swobodnie przepływa z jednych części mózgu do innych. Nie istnieje więc żadne takie miejsce, które można by uznać za siedzibę duszy lub świadomości.

Niektórzy uczeni sądzą, że różne części naszego mózgu jednocześnie generują różne myśli współzawodniczące ze sobą o przyciągnięcie uwagi całego systemu. W konkurencji tej zwycięża tylko jedna myśl. W tym sensie świadomość nie jest ciągła, lecz stanowi następstwo pojawiania się kolejnych myśli-zwycięzców.

Krańcowo odmienne opinie wyrażają filozofowie twierdzący, że roboty nigdy nie staną się świadome. Niektórzy, jak Colin McGinn z Uniwersytetu Rutgersa, powtarzają za New Mysterians, że świadomość nigdy nie zostanie objaśniona. "To tak jakby ślimaki usiłowały przeprowadzać psychoanalizę według reguł Freuda. Ich wysiłek byłby daremny, bo brak im kompetencji intelektualnych" ¹⁵⁸ - mówi McGinn. Roger Penrose, wybitny fizyk relatywista z Oksfordu, kwestionując możliwość stworzenia świadomych maszyn, posługuje się argumentami filozoficznymi zaczerpniętymi z mechaniki kwantowej. ¹⁵⁹

Wszelkie próby udowodnienia, że stworzenie maszyn obdarzonych świadomością jest zadaniem niewykonalnym, przypominają, wysiłki tych uczonych, którzy starali się udowodnić, że jednorożce są jedynie wytworem naszej wyobraźni. Nawet jeśli ktoś zdołałby dowieść, że jednorożce nie występują w znanych częściach świata, zawsze pozostanie możliwość, że zwierzęta te zamieszkują jakieś niezbadane dotąd tereny. Tak więc zapewnienia, że myślące maszyny nigdy nie pojawią się na Ziemi, są, moim zdaniem, pozbawione podstaw naukowych.

Ostateczną odpowiedź na pytanie, czy maszyny mogą myśleć, poznamy dopiero wtedy, kiedy ktoś zbuduje myślącą maszynę. Do tego czasu problem pozostaje nierozstrzygnięty.

Niedawno, podczas poświęconego związkom nauki z religią spotkania Dalajlamy z uczonymi w Nowojorskiej Akademii Nauk, zapytano go, czy znane mu są prace na temat sztucznej inteligencji. Kiedy odpowiedział, że owszem, padło pytanie, czy jego zdaniem sztuczna inteligencja podlega

¹⁵⁸ "Time", 25 marca 1996, s. 53.

¹⁵⁹ "Dowód" Penrose'a mający świadczyć o niemożności zbudowania myślącej maszyny nie był w rzeczywistości żadnym dowodem, ale raczej zbiorem wyrafinowanych, lecz przeważnie intuicyjnych argumentów, opartych na analogiach zaczerpniętych z matematyki i fizyki, a w szczególności na głębokim twierdzeniu Góbla o niekompletności arytmetyki oraz na zasadzie nieoznaczoności Heisenberga.

Penrose zwraca między innymi uwagę na fakt, że maszyna Turinga w skończonym przedziale czasu nie potrafi wyliczyć pewnych liczb. Z kolei ludzki mózg radzi sobie z problemami, którym nie mogą poddać maszyny Turinga. Dochodzimy zatem do wniosku, że ludzie nie mogą być maszynami. (Przypominamy jednak, że nasze umysły działają jak sieci

reinkarnacji.

Dostrzegając podchwytliwość pytania, Dalajlama wybuchnął śmiechem. "Kiedy będziecie mieli taką maszynę i postawicie ją przede mną, wrócimy do tej dyskusji" - odrzekł.

"Innymi słowy - mówi fizyk Heinz Pagels - problem został postawiony tak: najpierw pokaż, a potem pytaj. W skrytości ducha cieszyłem się jednak, że Dalajlama podziela mój punkt widzenia na czysty konstruktywizm. Rzecz powinno się zaprojektować i zbudować, a nie fantazjować na jej temat, podpierając się filozofią".¹⁶⁰ Tak więc, jedynym sposobem rozwiązania problemu jest skonstruowanie myślącej maszyny.

John Searle, jeden z krytyków sztucznej inteligencji, twierdzi, że w przyszłości roboty będą zapewne symulować myślenie, ale bez świadomości, że myślą. Będą mogły okazywać uczucia, ale nie doznając ich, tak jak dysk CD, na który zostały nagrane występy Billa Cosby'ego, nie rozumie opowiadanych przez aktora dowcipów. Według Searle'a roboty nie mogą być świadome, podobnie jak nikt *nie* może zmoknąć podczas symulowanej burzy.

Już kilka dekad temu Turing podkreślał, że można sformułować operacyjną definicję inteligencji bez otwierania "skrzynki

Turinga". Mamy tu analogię - jeśli poczynania robota nie różnią się od poczynañ istoty świadomej, można uznać, że jest on świadomy. W zasadzie to, co się dzieje wewnątrz mózgu robota, nie ma żadnego znaczenia.¹⁶¹

Prawdopodobnie istnieje wiele stopni świadomości. W najbliższych dekadach naukowcy będą zapewne tworzyć coraz doskonalsze wersje "świadomych" maszyn. Ich rozwój będzie przypominał trwającą miliardy lat ewolucję ziemskich stworzeń. Chociaż w królestwie zwierząt dają się zauważyć znaczne nieciągłości gatunkowe, istnieje jakieś kontinuum świadomości. Pierwszymi świadomymi istotami były proste organizmy jednokomórkowe, które następnie przekształciły się w organizmy bardziej złożone, aż w końcu pojawił się człowiek. Z tego, że przodkowie człowieka byli stworzeniami znacznie mniej od niego skomplikowanymi, można wyciągnąć wniosek, iż istnieje wiele poziomów świadomości.

W przeciwieństwie do filmowych robotów, które nagle budzą się i stają się świadome, poziom świadomości robotów konstruowanych przez uczonych będzie nieustannie rósł.

Poziomy świadomości

Organizm o najniższym stopniu świadomości jest zdolny odczuwać własne ciało i najbliższe otoczenie. W tym sensie nawet prymitywny termostat ma pewien rodzaj świadomości, jako że

neuronowe, a nie jak maszyny Turinga, przeto argumenty Penrose'a nie mają tu zastosowania).

¹⁶⁰ Pagels: *The Dreams of Reason*, s. 240.

¹⁶¹ Turing uważał, że pewnego dnia komputery staną się tak doskonałe, że nie będą różnić się od ludzi (w sensie operacyjnym). Aby to udowodnić, wymyślił sławny "test Turinga". Polega on na tym, że w jednej "czarnej skrzynce" umieszczamy komputer, a w drugiej człowieka i zadajemy dowolne pytania którejkolwiek ze skrzynek. Czy po zakończeniu testu będziemy potrafili odpowiedzieć na pytanie, w której skrzynce jest człowiek, a w której komputer? W czasach Turinga komputery były jeszcze tak prymitywne, że nikt nie próbował nawet przeprowadzić takiego testu. Przeprowadzono go dopiero niedawno, i to przy udziale zwykłego PC. I chociaż komputer osobisty w końcu się poddał, poziom rywalizacji był tak wysoki, że część jurorów nie potrafiła odgadnąć, w której skrzynce znajduje się człowiek, a w której maszyna.

mierzy temperaturę otoczenia. Do tej samej kategorii należą komputery, które mogą przeprowadzać autodiagnostykę i drukować listę błędów. Wyżej, lecz ciągle na tym samym poziomie świadomości, są rośliny. Chociaż nie mają one układu nerwowego, są świadome niezliczonych zmian zachodzących w ich otoczeniu i reagują na nie w złożony sposób. Do tej samej grupy można również zaliczyć urządzenia wyposażone w mechanizmy "widzenia", gdyż potrafią one rozpoznawać obrazy w swoim najbliższym otoczeniu. Także zwierzęta podczas snu funkcjonują na tym właśnie poziomie świadomości. Organizm zwierzęcia ustawicznie kontroluje sygnały płynące z otoczenia, dowiadując się w *ten* sposób o zbliżającym się niebezpieczeństwie, pojawieniu się w pobliżu potencjalnego partnera lub potencjalnej ofiary.

Z drugim poziomem świadomości wiąże się zdolność wypełniania dobrze określonych zadań, takich jak walka o przetrwanie czy reprodukcja. Do tej kategorii zaliczyć można także pojazdy marsjańskie, których budowa zaplanowana została na początek przyszłego wieku. Będą one potrafiły poruszać się w nieznanym terenie, samodzielnie przeprowadzać rekonesans, wykrywać niebezpieczeństwo, wyszukiwać interesujące szczegóły.

Nieco wyżej na tym drugim poziomie świadomości plasuje się królestwo zwierząt. Zwierzę przeprowadza skomplikowane działania, aby móc osiągnąć najważniejsze cele, które zostały zakodowane w jego mózgu (tzn. znalezienie pożywienia i partnera). Dla lisa najważniejszym celem jest dopadnięcie dzikiego królika. Dla królika - uniknięcie spotkania z lisem. Zwierzęta mają jednak ograniczoną zdolność rozumienia swojego postępowania. Większość ich zachowań jest z góry zaprogramowana.

(Zauważmy, że ten poziom świadomości najprawdopodobniej dominuje również u ludzi. Większość z nas nie poświęca wielu godzin na rozważanie filozoficznych aspektów samoświadomości lub na rozwiązywanie problemów egzystencjalnych. Chociaż wolelibyśmy się do tego nie przyznawać, gros czasu spędzamy na myśleniu o sprawach przeżycia i reprodukcji, zupełnie jak zwierzęta. A kiedy nie myślimy o przetrwaniu i prokreacji, zwykle oddajemy się zabawie i rozrywce. Ludzka świadomość nie ma więc wcale ezoterycznej i mitycznej natury).

Im trudniejszy do osiągnięcia jest cel i im bardziej złożone są plany wiodące do jego realizacji, tym wyższy poziom świadomości. Oznacza to, że mogą istnieć tysiące podkategorii świadomości. Przynależność do danej podkategorii zależy od stopnia złożoności planów, które trzeba zrealizować, aby osiągnąć zamierzony cel.

Drapieżniki takie jak lis są prawdopodobnie bardziej inteligentne niż ich ofiary. Lis musi opracować skomplikowaną strategię pościgu za królikiem, musi nauczyć się polować z ukrycia, podkradać i czatować, musi też poznać królicze zachowania. Lisy zatem mają prawdopodobnie bardziej rozwinięte zdolności poznawcze niż króliki, których główną strategią jest ucieczka. Być może dopiero około połowy przyszłego wieku roboty osiągną poziom świadomości psa, który także potrafi opracowywać skomplikowane strategie polowania.

Z trzecim i najwyższym poziomem świadomości wiąże się umiejętność stawiania sobie własnych celów, niezależnie od tego, czego one dotyczą. Roboty zdolne do funkcjonowania na tym poziomie

byłyby samoświadome. Niektórzy uczeni sądzą, że po 2050 roku może pojawić się klasa robotów zdolnych stawiać sobie własne, niezaprogramowane cele.

W tym momencie staniemy jednak wobec istotnych pytań. Co będzie, jeśli cele nasze i cele maszyn nie będą takie same? Co się stanie, jeśli roboty zaczną przewyższać nas intelektualnie i fizycznie? Do tych pytań, dość delikatnej natury, wrócę w rozdziale szóstym.

Chociaż obecne komputery nie potrafią jeszcze rozpoznawać obrazów ani samodzielnie myśleć, możemy już dziś przewidzieć następstwa wzrostu mocy sieci neuronowych i konwencjonalnych komputerów. Rozwiązanie problemu może przynieść zjednoczenie się szkół "z góry na dół" i "nauki od zera".

W ciągu najbliższych czterdziestu lat szkoły te spotkają się gdzieś w połowie drogi i stworzą wspólnie maszynę, która będzie mogła sama się uczyć, ale będzie również posiadała wiedzę eksperta - zawodowego inżyniera, chemika, lekarza czy prawnika. Po 2050 roku, wraz z nadejściem piątej fazy rozwoju komputera, może nastać epoka świadomych automatów.

Główną przeszkodą w realizacji tych marzeń są fizyczne ograniczenia technologii opartej na krzemie. Komputer zdolny rywalizować swoją mocą i pamięcią z ludzkim mózgiem będzie mógł powstać dopiero wtedy, gdy uczeni opracują nowe metody konstrukcyjne. Poszukiwaniami nowych rozwiązań zajmują się dziś przedstawiciele różnych dziedzin nauki - fizycy, informatycy, inżynierowie.

KRZEM I CO POTEM?

Cyborgi i skończenie doskonały komputer

Wszystko musi minąć.

GEORGE HARRISON

Aleksander Wielki podbił niemal cały starożytny świat, zanim ukończył dwudziesty piąty rok życia. Zakładając greckie kolonie i prowadząc zwycięskie kampanie, stworzył olbrzymie imperium. Przed największą bitwą, jaką dane mu było stoczyć, udał się do sławnej wyroczni boga Amona, gdzie kapłani przepowiedzieli mu, że zostanie zdobywcą świata i osiągnie boską moc. Jednakże Aleksander zmarł, mając 33 lata, a stworzone przez niego imperium rozpadło się wkrótce na niezależne państwa.

Mikroprocesor zawojował świat w ciągu ćwierć wieku. Dzięki olbrzymiej kompresji mocy komputer stał się urządzeniem, które każdy może postawić sobie na biurku. Komputery zaczęły stymulować rozwój przemysłu, nauki i techniki. W ciągu paru dziesiątków lat narodził się przemysł półprzewodnikowy. Co roku na rynek trafia 170 milionów mikroprocesorów, a obroty produkujących je przedsiębiorstw sięgają 150 miliardów dolarów.

Wielu fizyków i inżynierów zadaje sobie pytanie, jak długo będzie istnieć komputerowe imperium stworzone przez mikro-procesor. Niewykluczone, że już wkrótce przemysł komputerowy rozpadnie się niczym starożytne imperium Aleksandra Wielkiego, a głównym celem rywalizujących ze sobą przedsiębiorstw stanie się produkowanie komputerów o coraz większej mocy.

Prawa mechaniki kwantowej są nieubłagane: przewidziany przez Moore'a wzrost mocy obliczeniowej nie może trwać wiecznie.¹⁶² Podobnie jak Aleksander Macedoński i jego imperium, mikroprocesor będzie musiał odejść w przeszłość. I to dość szybko. Myśl ta napawa przerażeniem niektórych Informatyków. Zwłaszcza tych, którzy dzięki mikroprocesorom zbili pokaźne majątki.

W rozdziale drugim mówiliśmy o tym, że fizycy dotrą wkrótce do "bariery 0,1" - elementy na płycie krzemowej nie mogą osiągać rozmiarów mniejszych niż 0,1 mikrona. Aby móc wytrawiać jeszcze mniejsze tranzystory na płycie krzemowej, trzeba będzie wynaleźć zupełnie nową technologię. Elementy mikroprocesora powinny osiągnąć średnicę helisy DNA. Wcześniej czy później części składowe mikroprocesora staną się tak małe, jak cząsteczki chemiczne. Wtedy zatriumfują dziwne prawa mechaniki kwantowej.

¹⁶² Sam Moore wskazał na błąd kryjący się w jego własnym prawie. Za pomocą prawa Moore'a można wykazać, że w roku 2040 obroty przemysłu półprzewodnikowego będą większe niż suma dochodów narodowych gospodarek całego świata.

Dla komputerów przyszłego wieku szybkość przepływu prądu elektrycznego stanie się za mała. Superkomputery, takie jak Cray T90, już teraz mogą przeprowadzać 60 miliardów operacji na sekundę (60 gigaflopów na sekundę).¹⁶³ W poprzednim rozdziale wspomniałem, że w 1996 roku Departament Energii zawarł kontrakt z firmą IBM, która za sumę 93 milionów dolarów zobowiązała się zbudować najszybszy na świecie superkomputer, zdolny przetwarzać dane z szybkością 3 bilionów operacji na sekundę¹⁶⁴ (3 teraflopy na sekundę przy 2,5 biliona bajtów pamięci). Dla porównania: nasz mózg działa z szybkością 10 teraflopów lub większą.¹⁶⁵ W superkomputerach próg ten powinien zostać przekroczony na początku przyszłego wieku. Może się jednak okazać, że jest to ostateczna granica szybkości superkomputerów. W ciągu jednej bilionowej sekundy sygnał elektryczny może przepłynąć jedynie na odległość małej części milimetra, nie zdoła zatem dotrzeć do wszystkich części komputera.

Korzystając z prawa Moore'a, możemy przewidzieć, jak będą rozwijać się nauka i technika komputerowa do 2020 roku. W tym rozdziale spróbujemy sobie wyobrazić, jak będzie wyglądał świat po roku 2020, kiedy to pojawią się komputery nowego typu. Niektórzy progności wspominają o komputerach optycznych, które liczą za pomocą tańczących wiązek światła laserowego, lub o komputerach molekularnych, w których poszczególne operacje przeprowadzane są na pojedynczych atomach. Uczeni skonstruowali już komputery oparte na cząsteczkach DNA. Pewne problemy matematyczne rozwiązują one szybciej niż konwencjonalne superkomputery. Inna grupa prognostów przepowiada powstanie komputera kwantowego, który może okazać się skończenie doskonalszą maszyną liczącą.

Jeszcze inni marzą o tym odległym dniu, kiedy po Ziemi zaczną spacerować cyborgi, powstałe z połączenia istot ludzkich i urządzeń elektronicznych. Marvin Minsky z MIT uważa nawet, że cyborgi będą następnym etapem w ewolucji człowieka! Zastępując ciało stalą i krzemem, moglibyśmy osiągnąć prawdziwą nieśmiertelność.

Nie są to wcale rozważania o charakterze czysto akademickim. Od odpowiedzi na te właśnie pytania zależy przyszłość przemysłu o obrotach sięgających miliardów dolarów, los milionów ludzi i rozwój gospodarczy całych państw.

Wyjść w trzeci wymiar

Jeszcze przed 2005 rokiem uczeni zaczną atakować "barierę 0,1". Ze względu na olbrzymie pieniądze, jakie wchodzi w grę, możliwości dalszego rozwoju mikroprocesorów są przedmiotem niezwykle intensywnych badań.

Najprostszym sposobem zmodyfikowania procesora, a tym samym przedłużenia mu życia może być rozbudowa kości mikroprocesora w trzecim wymiarze, wytrawianie tranzystorów w kolejnych, nakładanych na siebie warstwach. Na takim trójwymiarowym mikroprocesorze można by gęściej upakować tranzystory, a odległości, jakie muszą pokonywać elektrony płynącego prądu, ulegną

¹⁶³ FLOP pochodzi od *floating point operation*. Jest to operacja zmiennie-przecinkowa polegająca na mnożeniu dwóch liczb rzeczywistych w zapisie dziesiętnym. "Giga" oznacza miliard, "tera" - bilion, a "peta" - biliard.

¹⁶⁴ "USA Today", 26 lipca 1996, s. B1.

zmniejszeniu.

Z przejściem od mikroprocesorów płaskich do objętościowych wiążą się jednak pewne problemy. Przede wszystkim nie wiadomo, co zrobić z olbrzymią ilością wydzielanego ciepła. Mikroprocesor superkomputera wydziela na swojej powierzchni tyle ciepła, że ilość tej energii wystarcza, żeby go stopić. Gdyby nie chłodzenie, przypominałby rozgrzaną patelnię. Toteż niezbędne jest instalowanie skomplikowanych urządzeń chłodzących, które odbierają ciepło powstające podczas obliczeń.

W standardowym mikroprocesorze ciepło ucieka przez powierzchnię. W kości trójwymiarowej, gdzie mikroprocesory nałożone są jeden na drugi, dysypacja ciepła jest znacznie utrudniona. Zmniejsza się powierzchnia pozwalająca na odprowadzenie ciepła. (Jest to znany problem stosunku powierzchni do objętości. Jeśli dwukrotnie zwiększymy wielkość trójwymiarowej kości, wydzielane ciepło wzrośnie proporcjonalnie do objętości, czyli ośmiokrotnie. Zdolność chłodzenia jest natomiast proporcjonalna do powierzchni, która zwiększyła się tylko czterokrotnie. Zatem zwiększając dwukrotnie objętość mikroprocesora, podwajamy trudności związane z jego chłodzeniem).

Ciepło wydzielane w mikroprocesorach jest wynikiem istnienia oporu elektrycznego materiałów przewodzących prąd. W superkomputerach problem odprowadzania ciepła rozwiązano częściowo poprzez zainstalowanie elementów chłodzących wykorzystujących ciekły azot lub hel. Metoda ta jest jednak kosztowna i wymaga budowy skomplikowanych układów chłodzących.

Jeśli ciepło wydzielane w objętościowych mikroprocesorach okaże się zbyt wielkie i trzeba będzie zastosować skomplikowane techniki chłodzenia, kości takie staną się za duże, by można je było wykorzystywać w desktopach czy laptopach (chyba że fizycy rozwiążą problem nadprzewodnictwa w temperaturach pokojowych, do którego to zagadnienia wrócimy w rozdziale trzynastym). Wydaje się więc, że objętościowe mikroprocesory będzie można stosować jedynie w superkomputerach, i to pod warunkiem, że trudności związane z chłodzeniem okażą się rozwiązywalne.

Oprócz trójwymiarowych sześciątów rozważa się również kilka innych rozwiązań, dzięki którym można by przedłużyć życie mikroprocesorów opartych na technologii krzemowej:

- Można zastąpić krzem (Si) arsenkiem galu (GaAs), materiałem o strukturze krystalicznej znacznie słabiej rozpraszającej elektrony. Pozwoliłoby to dziesięciokrotnie zwiększyć szybkość obwodów. Okres panowania mikroprocesora wydłużyłby się o parę lat. Niektórzy uczeni proponują użycie zamiast krzemu technologii krzemowo-germanowej.¹⁶⁶

- Zamiast wiązki światła laserowego (używanej do wytrawiania elementów obwodów na płytkach krzemowych) można użyć promieni rentgenowskich, którym odpowiadają krótsze fale. Promieniowanie rentgenowskie jest jednak wysokoenergetyczne. Zgodnie ze wzorem Plancka, im mniejsza długość fali, tym większa energia fotonów wiązki. Poza tym, w przeciwieństwie do widzialnego światła laserowego, promienie rentgenowskie są bardzo przenikliwe, trudno się z nimi

¹⁶⁵ Hans Moravec: *Mind Children*. Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1988, s. 60. Wywiad.

¹⁶⁶ Bernard S. Meyerson: Bardzo szybka elektronika krzemowo-germanowa, "Świat Nauki", maj 1994, s. 44.

pracuje i niełatwo je ogniskować. Promieniowanie to może uszkodzić płytkę krzemową zamiast ją wytrawić. Promieniowania rentgenowskiego nie używa się do produkcji żadnego z wytwarzanych obecnie typów mikroprocesorów.

- Do trawienia płytki można użyć wiązki elektronów. Ale chociaż wiązką elektronową można w sposób kontrolowany powodować zmiany w materiale na niewielkich głębokościach (właściwość tę wykorzystuje się w mikroskopach elektronowych używanych w laboratoriach biologicznych), technika ta jest powolna. Laser może wytrawić całą płytkę jednym błyskiem światła, natomiast wiązka elektronów musi wypalać każdą ścieżkę z osobna. Taki proces trwa godzinami, co czyni go zupełnie nieopłacalnym. Eksperci komputerowi przypuszczają jednak, że około 2005 roku pojawi się jakaś nowa technika wykorzystująca jednocześnie elektrony i promienie rentgenowskie. To właśnie dzięki niej płytki krzemowe przetrwają aż do 2020 roku. Już teraz firma IBM, wykorzystując swój synchrotron w Nowym Jorku, rozpoczęła próby uzyskania wiązki promieniowania rentgenowskiego.¹⁶⁷

Konstruktorzy płytek krzemowych mają do rozwiązania jeszcze jeden problem. Ścieżki na płytkach stają się coraz cieńsze. Przy tak niewielkich odstępach pomiędzy ścieżkami elektrony zaczynają przeskakiwać przez nieprzewodzącą barierę oddzielającą przewodzące ścieżki. Obwody logiczne przestają wówczas działać poprawnie. Dla technologii krzemowej istnieje granica, której prawa fizyki nie pozwalają przekroczyć.

Świadomość zbliżającego się kresu technologii krzemowej już teraz nie daje spać ekspertom. "Nie chciałabym ujawniać żadnych nazwisk, ale brałam udział w zebraniu, na którym mówiono, że jeżeli zrezygnujemy z optyki, to po prostu wypadniemy z gry" - mówi Karen H. Brown, dyrektor działu litografii w firmie Sematech, amerykańskim konsorcjum zajmującym się badaniami nowych technologii i ich wdrażaniem.¹⁶⁸

Po roku 2020: komputery optyczne

Spróbujcie sobie wyobrazić, jak wyglądałby Nowy Jork albo Los Angeles, gdyby samochody mogły przenikać przez siebie. Natychmiast zniknęłyby korki i zatory. Jazda w godzinach szczytu byłaby przyjemnością, a nie torturą. Tak właśnie ma w przyszłości działać komputer optyczny. Wewnątrz kości optycznej wiązki światła laserowego, niosące informację numeryczną, będą przez siebie swobodnie przechodzić.

Taki optyczny przekaz informacji jest nieprawdopodobnie szybki. Wszak odbywa się z prędkością światła. Ponadto podczas przekazu wydziela się o wiele mniej ciepła, co rozwiązuje jeden z największych problemów mikroprocesora objętościowego.

W 1990 roku naukowcy z Laboratoriów Bella, czyli z ośrodka, w którym przed laty wyprodukowano pierwszy tranzystor, zbudowali prototyp komputera optycznego. Zamiast ścieżek przewodzących i tranzystorów pojawiły się soczewki, zwierciadła, wiązki laserowe.¹⁶⁹

¹⁶⁷ Gary Stix: O krok od granic możliwości, "Świat Nauki", kwiecień 1995, s. 81.

¹⁶⁸ *Ibidem*, s. 77.

¹⁶⁹ "New York Times", 30 stycznia 1990, s. D8.

Najważniejszą sprawą było znalezienie optycznego odpowiednika tranzystora, elementu będącego sercem każdego komputera. Tranzystor pełni funkcję zaworu regulującego przepływ elektronów. Naukowcy z Laboratoriów Bella stworzyli optyczny tranzystor, który kontroluje przepływ światła. Działa on na tej samej zasadzie co wszystkie latarnie morskie, z których sygnały świetlne wysyłane są przez szybkie przysłanianie i odsłanianie silnego źródła światła. Tranzystorowi optycznemu nadano nazwę S-seed (ang. *seed* oznacza ziarno, kielek. Skrót angielski pochodzi od *symmetric self-electro-optic effect*, czyli symetryczny efekt autoelektro-optyczny). Zasada jego działania jest prosta - jest to filtr, który przepuszcza światło bądź je zatrzymuje. (Przyłożenie napięcia do tego "tranzystora" powoduje, że filtr staje się przezroczysty i przepuszcza intensywną wiązkę światła laserowego. W kodzie binarnym odpowiada to jedynce. Skierowanie drugiej, sterującej wiązki na S-seed powoduje, że filtr staje się nieprzezroczysty i główna wiązka nie przechodzi. Odpowiada to zeru w kodzie binarnym. Tak więc na wiązce światła przechodzącej przez filtr możemy generować sygnał świetlny będący ciągiem zer i jedynek, zmieniając odpowiednio napięcie sterujące przezroczystością filtru).

Pierwszy komputer optyczny był zdumiewająco niezdatny. Podczas gdy procesory krzemowe posiadają miliony tranzystorów wytrawionych na płytce wielkości paznokcia, komputer ten miał tylko 128 tranzystorów optycznych rozmieszczonych na powierzchni niemal metra kwadratowego. Należy jednak pamiętać, że pierwszy komputer elektronowy, zbudowany pod kierunkiem Johna von Neumanna, zajmował kilka pomieszczeń.

"To bardzo znaczące osiągnięcie - twierdzi John Moussouris, projektant z Doliny Krzemowej - ponieważ takie właśnie elementy staną się tranzystorami XXI wieku".¹⁷⁰

Następnym krokiem będzie eliminacja przewodów. Wiązki światła niosące miliony i miliardy instrukcji będą swobodnie przenikały przez siebie w trójwymiarowej przestrzeni. Aby móc wprowadzić do pamięci komputera niesamowitą liczbę danych unoszonych przez światło, uczeni rozważają możliwość wykorzystania najbardziej olśniewającej własności światła laserowego - holografii.

Pamięć holograficzna

Hologramy to realistycznie wyglądające trójwymiarowe obrazy. Pewnego dnia w naszych domach pojawią się być może trójwymiarowe, holograficzne obrazy telewizyjne. Zanim to jednak nastąpi, hologramy zaczną być zapewne wykorzystywane do zapamiętywania olbrzymich ilości informacji. Typowa płyta kompaktowa (CD) może pomieścić 640 milionów bajtów (jest to ilość informacji zawarta na 300 tysiącach stron znormalizowanego maszynopisu). Wielowarstwowe CD, w których poszczególne warstwy umieszczone są jedna na drugiej, jeszcze przed końcem 2000 roku mogą osiągnąć pojemność dziesiątków gigabajtów. Odpowiada to ilości informacji zawartej w obrazach pełnometrażowego filmu fabularnego. Ale pamięć holograficzna będzie mogła pomieścić

¹⁷⁰ *Ibidem.*

setki gigabajtów.¹⁷¹ Stanie się to możliwe dzięki niezwykle małej długości fali światła. Kiedy dwie wiązki laserowe interferują ze sobą w ośrodku materialnym, tworzy się misterna sieć miejsc o wzmocnionej i osłabionej intensywności światła. Jeśli uda nam się utrwalić taki obraz interferencyjny, możemy za jego pomocą zachować nieprawdopodobne ilości informacji. Niewykluczone, że przyjdzie czas, gdy informację zgromadzoną obecnie we wszystkich komputerach świata będzie można zapisać w jednej kostce holograficznej.

Komputery optyczne wyposażone w pamięć holograficzną to idealni następcy krzemu. Są szybsze, mają większą moc obliczeniową, łatwiej je chłodzić i można w nich składować niemal nieograniczoną ilość informacji. I one jednak mają swoje wady. Zanim tranzystory optyczne będą mogły konkurować z krzemowymi, musi zostać rozwiązany problem miniaturyzacji.

Kluczem do rozwiązania tego problemu będzie stworzenie mikroskopijnych laserów i bramek (S-seeds), których miliony zmieściłyby się w trójwymiarowej kostce. Ta technika nie jest wcale tak odległa: proces trawienia stosowany przy formowaniu tranzystorów na krzemie może być również wykorzystany do wytwarzania bramek w arsenku galu, co, jak zobaczymy w rozdziale trzynastym, pozwala osiągnąć znaczny wzrost szybkości przełączania. Jeśli technika wytrawiania zostanie również zaadaptowana do wytwarzania mikroskopijnych laserów, komputer optyczny stanie się groźnym rywalem mikroprocesora opartego na krzemie.

Komputery DNA

Jednym z najoryginalniejszych i najbardziej niespodziewanych wynalazków ostatnich lat jest komputer DNA, który, jak się wydaje, radzi sobie z trudnymi problemami matematycznymi lepiej niż zwykły komputer. Komputer DNA zawdzięcza swoje powstanie przełomowi, jaki dokonał się w dwóch dziedzinach nauki: informatyce i biologii molekularnej. Leonard Adelman z Uniwersytetu Południowej Kalifornii udowodnił, że DNA, w ilości mieszczącej się w niewielkiej nawet próbówce, potrafi poradzić sobie z problemami, którymi dławią się superkomputery.

Cząsteczki DNA są idealnym materiałem do budowy molekularnego komputera. Są sprawne i małe - zajmują jedynie 0,3% objętości jądra komórkowego. DNA zawiera 100 bilionów razy więcej informacji niż najbardziej pojemne pamięci komputerowe. W dodatku wszystkie cząsteczki DNA (w zwykłej próbówce mieści się około 10^{20} molekuł) są zdolne przetwarzać informacje jednocześnie.

Chociaż procesor zwykłego komputera jest bardzo szybki, przeprowadza on w danym momencie tylko jedną operację, a wykonując ją - wytwarza ciepło. Komputer wykorzystujący DNA, mimo że wolniejszy, może przetwarzać informację za pomocą astronomicznej liczby cząsteczek, w dodatku miliardy razy wydajniejszych energetycznie.

Istotną wspólną cechą komputerów opartych na krzemie i na DNA jest to, że oba te układy są cyfrowe, podstawą działania każdego z nich jest informacja zawarta w bitach. W zwykłym komputerze informacja ta zakodowana jest w postaci kodu binarnego, ciągu zer i jedynek wyglądającego, na przykład, tak:

¹⁷¹ Demetri Psaltis, Fai Mok: Pamięci holograficzne, "Świat Nauki", styczeń 1996, s. 46.

000111001010100100011110101001001

W przypadku DNA informację można zapisać czterema symbolami: A, T, C, G odpowiadającymi czterem resztom zasadowym wchodzącym w skład cząsteczki DNA. Na pierwszy rzut oka zapis genetyczny człowieka, składający się z 3 miliardów liter, tworzy bezsensowny ciąg, na przykład:

ATTTCCCGAATCGGTCTGTGAGAGCGCGAAAAAA...

Ponieważ informacja zapisana w DNA jest w gruncie rzeczy cyfrowa, może być przetwarzana w taki sposób, w jaki przetwarzana jest w maszynie Turinga. Maszyna ta pobiera pewien składający się z zer i jedynek zapis wejściowy, na przykład 10111000101010000, i dokonuje na nim czterech podstawowych operacji, wytwarzając w ten sposób zapis wyjściowy. Może zamienić 0 na 1, 1 na 0, przesunąć się o jedno miejsce w prawo lub o jedno miejsce w lewo. Wszystkie komputery i maszyny cyfrowe, nawet te najszybsze i najbardziej skomplikowane, działają na tej samej zasadzie co skromna maszyna Turinga.

Podobnie jest w cząsteczce DNA zawierającej sekwencje czterech różnych reszt zasadowych, powiedzmy ciąg AACCGTTCCC. Sekwencję taką można przekształcić w standardowy układ binarny przez pewne przyporządkowanie, na przykład: ATTCG = 1, TCGGA = 0, GATTC = 1¹⁷² Wykonując następnie szereg dość skomplikowanych reakcji chemicznych (czyli rozcinając nić DNA za pomocą enzymów restrykcyjnych, a następnie wykorzystując tzw. łańcuchową reakcję polimera-zy w celu powielenia DNA), można powtórzyć krok za krokiem wszystkie operacje maszyny Turinga. Rozpoczynając od sekwencji AACCGTTCCC i dokonując różnych zmian, otrzymamy dowolną inną sekwencję. W ten sposób można stworzyć "maszynę DNA Turinga". Pół kilograma DNA (rozpuszczone w metrze sześciennym cieczy) potrafi zapamiętać więcej informacji niż wszystkie wyprodukowane dotychczas komputery. Jest to pojemność 100 bilionów razy większa niż pojemność ludzkiego mózgu. Nawet uncja DNA może być 100 tysięcy razy szybsza niż najszybszy komputer.

"Tama została przerwana - mówi Richard Lipton z Uniwersytetu w Princeton. - Nigdy, w żadnej dziedzinie nie widziałem tak szybkiego postępu".¹⁷³

Ronald Graham z Laboratoriów Bella AT&T porównuje otwierające się przed naukowcami możliwości do "nowego sklepu z zabawkami".

Komputery DNA już się sprawdziły.¹⁷⁴ Komputer skonstruowany przez Adelmiana rozwiązał stary problem komiwojażera. Zadanie to polega na znalezieniu najkrótszej drogi, jaką powinien pokonać komiwojażer odwiedzający po drodze N miast, przy czym w każdym mieście wolno mu być tylko raz. Ten pozornie prosty problem staje się nadzwyczaj trudny do rozwiązania przy dużych wartościach N . Komputer oparty na DNA rozwiązał jedną z wersji tego zadania w ciągu tygodnia. Standardowemu komputerowi zajęłoby to kilkanaście lat.

Moc obliczeniowa komputera daje możliwość złamania kodu DES (ang.: *data encryption*

¹⁷² Zauważmy, że w ten sposób tracimy pewną część informacji. W zasadzie, dysponując czterema literami, moglibyśmy znacznie ekonomiczniej generować większe zbiory liczb niż za pomocą dwóch liter. Jak dotąd nie wykorzystano w pełni tej zalety komputerów DNA.

¹⁷³ "New York Times", 11 kwietnia 1995, s. C10.

¹⁷⁴ *Ibidem*.

standard). Szyfr ten, opracowany przez Narodową Komisję ds. Bezpieczeństwa, stosowany jest przy zabezpieczaniu informacji przesyłanych przez finansowe agendy rządowe USA oraz duże banki. Przez łącza komunikacyjne w rozbudowanych przekazach zabezpieczonych kodem DES wędrują codziennie miliardy dolarów.

Nic dziwnego, że instytucje rządowe chciałyby wiedzieć, czy kod ten można złamać. Wszak chroni on sporą część państwowych i wojskowych operacji finansowych. U podstaw tego wymyślnego szyfru leży 56-cyfrowa liczba, zwana kluczem. (Klucz jest zbiorem instrukcji logicznych potrzebnych do odszyfrowania odebranego komunikatu). Aby złamać szyfr, trzeba odgadnąć, która spośród 2^{56} możliwych kombinacji liczb jest właściwa. Zwykłemu komputerowi wypróbowanie wszystkich możliwości zabrałoby 10 tysięcy lat. Dlatego też niegdyś sądzono, że kod DES będzie bezpieczny przez następne 10 tysięcy lat. Skoro jednak dysponujemy komputerem opartym na DNA, sytuacja ulega zmianie. Lipton uważa, że aby złamać kod DES, potrzeba zaledwie "kilku miesięcy obliczeń biologicznych".¹⁷⁵ Opinię tę podziela Dan Boneh z Uniwersytetu w Princeton, który oszacował, że komputer DNA musiałby wykonać 907 "kroków biologicznych", żeby złamać kod.¹⁷⁶ (Komputer DNA nie jest jednak w stanie zagrozić międzynarodowemu systemowi bankowemu. Najściślej strzeżone dane przesyłane są pomiędzy bankami za pomocą podwójnego kodu DES, a czasami stosowane są nawet trzy klucze).

Komputer DNA również ma swoją wadę: cząsteczki DNA w końcu ulegają rozkładowi. Toteż nie można przez dłuższy czas składować olbrzymich ilości informacji w układach tego typu. Ostatecznie zawartość pamięci i tak powinna zostać przesłana do standardowego komputera.

Ponadto komputery DNA nie odznaczają się zbyt dużą elastycznością. Na obecnym etapie każdy problem wymaga przygotowania unikatowej sekwencji reakcji chemicznych. Jeśli chce się rozwiązać nieco inny problem matematyczny, trzeba przygotować zupełnie inny ciąg reakcji. Komputery oparte na krzemie są urządzeniami wszechstronnymi, ten sam komputer może rozwiązać miliony różnych problemów i nie trzeba dokonywać w nim żadnych zmian.

Nie wydaje się, żeby komputery DNA zastąpiły laptopy czy zwykłe PC. Zajmują one zbyt wiele miejsca i nie są wystarczająco elastyczne. Znacznie wygodniejsza do stosowania na co dzień jest technologia oparta na krzemie. Jednakże w sytuacjach, kiedy do rozwiązania jakiegoś skomplikowanego i ważnego problemu potrzebna będzie olbrzymia moc obliczeniowa, komputery DNA okażą swoją wyższość nad dużymi komputerami centralnymi.

Większość analityków komputerowych sądzi, że komputery DNA (i inne "organiczne" urządzenia liczące, na przykład komputery oparte na białkach) można będzie wykorzystywać do rozwiązywania specyficznych rodzajów zadań, nad którymi obecnie pracują ogromne superkomputery centralne. Ale nawet najpotężniejsze komputery DNA będą zawsze mniej efektywne od tranzystora kwantowego i komputera kwantowego. W rzeczywistości najmniejszym tranzystorem i najmniejszym elementem obwodu nie jest cząsteczka chemiczna, ale pojedynczy elektron.

¹⁷⁵ *Ibidem.*

¹⁷⁶ *Ibidem.*

Po roku 2020: tranzystory kwantowe

Ostatecznie wszystkie obwody elektroniczne osiągną poziom, na którym rządzą prawa fizyki kwantowej. Materia na poziomie elementarnym wykazuje zarówno własności falowe, jak i własności cząstek. Jest to jedna z najistotniejszych tez mechaniki kwantowej. Przy niskich energiach elektrony zachowują się niemal jak fale, natomiast wysokoenergetyczne elektrony mają własności cząstek punktowych. Ta dualna natura elektronów objawiających własności falowe jest sprzeczna z naszą intuicją. Podczas gdy cząstki są zatrzymywane przez bariery pojawiające się na drodze ich ruchu, fale mogą przez nie przenikać. (Precyzyjniej - mechanika kwantowa mówi, że elektron jest cząstką punktową, ale prawdopodobieństwo znalezienia tej cząstki w pewnym punkcie przestrzeni jest równe kwadratowi modułu wartości przyjmowanej przez funkcję falową w tym punkcie. W miarę jak elektron przyspiesza, odpowiadająca mu fala Schrödingera ma coraz mniejszą długość i w ten oto sposób zwiększa się prawdopodobieństwo znalezienia elektronu w jednym punkcie w przestrzeni, a wszędzie indziej maleje. Gdy elektron zwalnia, długość fali rośnie i wzrasta prawdopodobieństwo znalezienia go na większych obszarach przestrzeni. Rezultatem tego zjawiska jest to, że nie możemy dokładnie wyznaczyć jednocześnie położenia i prędkości elektronu, o czym mówi sformułowana przez Heisenberga zasada nieoznaczoności).

Jedno z praw o najdonioślejszym dla mechaniki kwantowej znaczeniu - zasada nieoznaczoności Heisenberga - głosi, że istnieje skończone prawdopodobieństwo tego, iż zdarzą się zgoła nieprawdopodobne sytuacje. Wyobraźmy sobie, że jesteśmy zamknięci w więzieniu o wyjątkowo grubych murach. W tej sytuacji walenie czołem w ścianę może spowodować jedynie ból głowy. Jednakże istnieje skończone prawdopodobieństwo tego, że atomy głowy prześlizgną się pomiędzy atomami cegieł i wydostaniemy się z więzienia. (Można oszacować prawdopodobieństwo takiego zdarzenia, ale jest ono tak małe, że na wyswobodzenie się musielibyśmy czekać o wiele dłużej, niż istnieje Wszechświat. Tak więc mechanika kwantowa nie pomoże nam wydostać się na wolność).

Elektrony zamknięte są w przewodach niczym w więzieniu. One również próbują się wyswobodzić, tłukąc w ściany przewodnika. Ich szanse na odzyskanie wolności są jednak znacznie większe. Zarówno liczba elektronów, jak i liczba uderzeń o ściany są wprost astronomiczne. Dlatego nie można wykluczyć, że niektórym elektronom uda się przedostać na zewnątrz. Zwłaszcza jeśli drucik jest niezwykle cienki. Innymi słowy, jeśli przewody zaczynają osiągać rozmiary porównywalne ze skalami atomowymi, a w ich ścianki uderzają ogromne ilości elektronów, niektóre nośniki ładunku mają szansę prześliznąć się przez barierę. Jeśli tak się stanie, standardowe obwody logiczne przestają poprawnie funkcjonować.

Postęp w elektronice kwantowej jest obecnie tak szybki, że zaczęto już wytwarzać urządzenia, których zbudowanie uważano jeszcze parę lat temu za niemożliwe, urządzenia, w których manipuluje się pojedynczymi elektronami. Dzięki temu prawdopodobne stało się skonstruowanie tranzystorów kwantowych. Uczeni stworzyli już studnię kwantową (pojedynczy elektron uwięziony jest pomiędzy dwoma płaskimi warstwami), kwantową linię, składającą się z elektronu, który porusza się po prostej, a także kropkę kwantową, zawierającą pojedynczy elektron uwięziony w

jednym miejscu w przestrzeni. (Taka kropka ma średnicę około 20 nanometrów, co odpowiada obszarowi zajmowanemu przez 5 do 10 atomów).

Wewnątrz takich obiektów kwantowych pojedynczy elektron drga z dobrze określonymi częstotliwościami i zachowuje się jak fala rezonansu. Podobnie struna skrzypiec drga tylko z pewnymi częstotliwościami (odpowiadającymi dźwiękom a, c, g itd.), wywołującymi rezonans pudła skrzypiec. (Nawet osoba o słabym i piskliwym głosiku, śpiewając pod prysznicem, może osiągnąć wręcz operowe efekty - fale głosowe o pewnych częstotliwościach ulegają rezonansowemu wzmocnieniu pomiędzy ściankami kabiny).

Pojedynczy elektron uwięziony w kropce kwantowej wpada w rezonans, podobnie jak struna skrzypiec lub głos śpiewającego pod prysznicem. Ale kropka kwantowa pozwala na istnienie tylko pewnych częstotliwości drgań. Przykładając odpowiedni potencjał do kropki kwantowej, możemy wywołać w niej swobodny ruch elektronu (drganie rezonansowe). Odpowiada to bitowi o wartości logicznej 1. Podwyższając nieco potencjał, zaburzamy rezonans i przepływ prądu ustaje. To, z kolei, odpowiada bitowi 0. Ale jeśli jeszcze trochę podniesiemy wartość potencjału, możemy trafić w następną częstotliwość rezonansową i prąd popłynie znowu. W ten sposób kropka kwantowa staje się odpowiednikiem kilku tranzystorów. Kontrolując przyłożony do niej potencjał, możemy wytworzyć ciąg sygnałów binarnych.

Krótko mówiąc - najmniejszy na świecie tranzystor składa się z pojedynczego elektronu uwięzionego w kropce niewiele większej od atomu, która naśladuje działanie nie jednego, ale wielu tranzystorów.

Takie tranzystory kwantowe nie są jedynie tworem wyobraźni. Zostały naprawdę skonstruowane. Ponieważ jednak są niezwykle czułe i trudno się nimi posługiwać, prace nad ich udoskonalaniem wciąż pozostają w stadium eksperymentu. Nie należy się więc spodziewać, że urządzenia oparte na tranzystorach kwantowych pojawią się w najbliższych latach w handlu.

"Nikt na razie nie potrafi stworzyć obwodów zawierających miliony tranzystorów kwantowych. Ale pomysły już się krystalizują" - twierdzi Gary Frazier z firmy Texas Instruments.¹⁷⁷

Wszystkie te trudności nie powstrzymują uczonych od ciągłych spekulacji na temat ostatniego kroku: skończenie doskonałego komputera, czyli komputera kwantowego.

Komputer doskonały

Kwantowe komputery tym różnią się od pojedynczych tranzystorów kwantowych, że są w całości obiektami kwantowymi. Podczas gdy tranzystory kwantowe mogą działać jako elementy konwencjonalnych obwodów i ścieżek przewodzących, w komputerze kwantowym wszystko zostanie zastąpione falami materii.

Richard Feynman, laureat Nagrody Nobla z fizyki, był jednym z pierwszych uczonych, którzy rozważali możliwość stworzenia komputera kwantowego. W artykule opublikowanym w 1981 roku Feynman poruszył problem minimalizacji rozmiarów komputera. Kiedy elementy komputerów

¹⁷⁷ "Dallas Morning News", 3 sierpnia 1992, s. 5F.

osiągną rozmiary atomowe, będą musiały podporządkować się zupełnie nowym prawom, nieznanym z życia codziennego. Feynman podkreślał, że wielu podstawowych problemów teorii kwantowej nie da się rozwiązać za pomocą zwykłej maszyny Turinga. Mnóstwo zagadnień mechaniki kwantowej wymaga obliczeń o nieskończonej liczbie operacji. Zwykłe komputery nie zdołałyby ich zatem rozwiązać. Poszukiwanie odpowiedzi na pewne interesujące pytania - co się dzieje, kiedy ciecz zaczyna wrzeć? co się dzieje podczas zderzenia dwu cząstek elementarnych? - zajęłyby komputerowi wieczność.

Wyjście z sytuacji, które zaproponował Feynman, było nadzwyczaj proste: aby rozwiązać kwantowy problem, należy użyć kwantowego komputera! Jego idea przybrała postać konkretnej propozycji w opublikowanej w 1985 roku pracy Davida Deutch z Uniwersytetu w Oksfordzie. Deutch doszedł do wniosku, że przebieg procesów kwantowych przypomina działanie gigantycznych maszyn sumujących. Jedyna różnica polega na tym, że komputery kwantowe w mgnieniu oka dokonują operacji z nieskończoną ilością zmiennych. Kwantowy komputer jest urządzeniem zupełnie innego typu niż maszyna Turinga. Obliczenia, które zwykłemu komputerowi zajęłyby wieczność, komputer kwantowy wykonuje niemal natychmiastowo.¹⁷⁸

Zilustrujemy to przykładem. Wyobraźmy sobie, że mamy przejść na drugą stronę Central Parku w Nowym Jorku. Z punktu widzenia mechaniki kwantowej, aby obliczyć prawdopodobieństwo znalezienia się po drugiej stronie parku, należy dodać do siebie wkłady pochodzące od wszystkich możliwych trajektorii łączących punkt wyjścia z punktem docelowym. Należy więc wziąć pod uwagę i to, że drogę tę można przebyć również po trajektorii zahaczającej o Marsa, Jowisza, a nawet odległe kwazary należące do galaktyki w Andromedzie. Dopiero gdy uwzględnimy wszystkie te fantastyczne możliwości, dowiemy się, jakie jest dokładne prawdopodobieństwo przedostania się z jednego końca parku na drugi. Teoria kwantowa jest najbardziej komiczną teorią, jaką kiedykolwiek sformułowano. To czyste naigrawanie się z naszego zdrowego rozsądku i intuicji. Mechanika kwantowa ukazuje wiele paradoksów, które zaprzeczają wszelkim naszym wyobrażeniom o świecie. Ale teoria kwantowa ma jedną podstawową zaletę: jest absolutnie poprawna w swoich przewidywaniach i nie można zakwestionować jej wyników. Wszelkie eksperymentalne próby jej obalenia kończyły się niepowodzeniem.

Teoria kwantowa sumuje ze sobą nieskończone ilości dróg łączących dwa punkty, w tym także trajektorie przebiegające przez środki odległych gwiazd. Wynika stąd, że komputer kwantowy to jedna wielka sumująca maszyna, zdolna w okamgnieniu dodać do siebie nieskończenie wiele składników.

Komputer kwantowy nie jest więc maszyną Turinga - różni się w istotny sposób od komputera DNA czy innego komputera molekularnego (który za pomocą wielkiej liczby cząsteczek potrafi przetwarzać ogromną, ale nie nieskończoną ilość informacji).

¹⁷⁸ Nie oznacza to jednak, że komputery kwantowe wykonują obliczenia natychmiastowo. Również w komputerach kwantowych przeprowadzanie obliczeń trwa jakiś czas. Jednakże przetwarzanie danych w trakcie rozwiązywania trudnych problemów wymaga "czasu wielomianowego", tzn. czas obliczeń rośnie potęgowo z liczbą kroków, a nie wykładniczo. Daje to komputerom kwantowym wielką przewagę nad maszynami Turinga.

Przełom w teorii obliczeń kwantowych nastąpił w 1994 roku, kiedy to Peter Shor z AT&T wykazał, że komputer kwantowy potrafiłby błyskawicznie rozłożyć na czynniki pierwsze każdą dowolnie dużą liczbę całkowitą. Stworzenie komputera kwantowego wywarłoby natychmiastowy wpływ na handel, bankowość, a nawet szpiegostwo. Niektóre z utajnionych transakcji wymagają umiejętności faktoryzacji (rozłożenia na czynniki pierwsze) liczb, które mogą być zapisane nawet w postaci 100 cyfr. Jest to zadanie niezwykle trudne. Zwykłym komputerom, w których stosuje się metodę prób i błędów, rozwiązanie go zabrałoby dziesiątki lat. Kwantowy komputer, jak to udowodnił Shor, łatwo radzi sobie z takim problemem.

Aby dokonać faktoryzacji 129-cyfrowej liczby, należałoby połączyć w Internecie 1600 komputerów, które musiałyby pracować przez 8 miesięcy. Taka sama armada komputerów musiałaby liczyć przez wieki, żeby rozbić na czynniki pierwsze liczbę zapisaną w postaci 250 cyfr, a wydruk całego "rozumowania", jeśli by zapisać je na papierze, zajęłoby 10^{500} linii. Aby unaocnić Czytelnikom, jak wielka jest to liczba, przypomnijmy, że w obserwowanym Wszechświecie znajduje się tylko 10^{80} atomów. Innymi słowy, w całym dostrzegalnym Wszechświecie nie ma wystarczająco wielu atomów, aby zapisać wszystkie etapy procedury prób i błędów, która umożliwiłaby dokonanie faktoryzacji 250-cyfrowej liczby. Ale kwantowy komputer może poradzić sobie i z tym gigantycznym zadaniem.

Po roku 2050

Komputer kwantowy jest w zasadzie dość prostym urządzeniem. Maszyna Turinga przetwarza, zwykle podany jej na jakiejś taśmie (lub innym nośniku informacji), ciąg składający się z zer i jedynek. W komputerze kwantowym taka taśma czy dyskietka zastąpiona jest sekwencją atomów. Przypuśćmy, że atomy uporządkowane są w sieć i kręcą się w niej jak dziecięce bąki. Podobnie jak bąk może wirować w prawo lub w lewo, tak atom może mieć spin "w górę" lub "w dół". Fizycy mówią, że atom może być w dwu stanach: w stanie ze spinem w górę lub w stanie ze spinem w dół. Powstaje dzięki temu wygodny kod binarny: 0 = spin w dół oraz 1 = spin w górę. Taki kwantowy bit informacji nosi nazwę qubit.

Sedno obliczeń kwantowych tkwi w qubitach, które różnią się w istotny sposób od bitów. W maszynie Turinga bit przyjmuje wartość 0 lub 1. Nie istnieją żadne wartości pośrednie. Natomiast w komputerze kwantowym spin atomu nie jest w żadnej chwili dobrze określony. Stan spinowy atomu jest sumą stanów: spin w górę i spin w dół. Tak więc qubit nie ma wartości 1 ani 0, ale jest superpozycją, złożeniem tych dwu stanów. (Ta dziwna własność qubitów - może on przyjmować wartości pomiędzy 0 a 1 - oznacza, że komputer kwantowy może przeprowadzać nieskończenie bardziej złożone operacje niż standardowa maszyna Turinga).

Kiedy na siatkę atomów pada światło, przechodzący przez nią foton może spowodować, że któryś z atomów zmieni stan spinowy. (Foton również zmieni skrętność). Zmierzymy więc, jak foton "kręci się" po opuszczeniu siatki atomów. Teoria kwantowa sumuje wszystkie możliwe drogi przejścia fotonu przez siatkę atomów oraz wszystkie możliwe stany spinowe. A liczba stanów sieci

składającej się z, powiedzmy, 1000 atomów jest równa 2^{1000} , co daje w przybliżeniu jedynekę z 300 zerami. I znowu - jest to liczba znacznie większa od liczby atomów we Wszechświecie. Kwantowy komputer może zatem przetwarzać astronomiczne liczby, którym nie podołałaby standardowa maszyna Turinga.

Jeśli komputery kwantowe są nieskończenie bardziej potężne niż największy superkomputer, jeśli dzięki nim można złamać kody szyfrowe broniące dostępu do miliardów dolarów, to dlaczego nikt ich nie zbudował?

Problem leży w tym, że nawet najdrobniejsze zanieczyszczenie może spowodować, że komputer kwantowy przestaje działać. Taki komputer musi być izolowany od wszelkich możliwych wpływów świata zewnętrznego, co jest zadaniem niezwykle trudnym. W zasadzie, nawet pojedyncza cząstka promieniowania kosmicznego przelatująca przez komputer kwantowy może zakłócić przebieg dokonywanych w nim operacji. Sondy kosmiczne testowane są w izolowanych pokojach, żeby cząstki kurzu nie zniszczyły delikatnych żyroskopów. A komputer kwantowy trzeba chronić nawet przed zabłąkanymi cząstkami elementarnymi.

Postęp w pracach nad skonstruowaniem komputera kwantowego, z początku powolny, staje się coraz szybszy. "Rozwój techniczny w tej dziedzinie zupełnie mnie zaskoczył. Jeszcze trzy czy cztery lata temu twierdziłem, że jest to sprawa na całe stulecie. Teraz jestem większym optymistą" - podsumowuje David Deutch.¹⁷⁹

"Trudno jest ustawić w szeregu dużą liczbę atomów - mówi Seth Lloyd z MIT. - Są bardzo małe i wrażliwe. Ale powoli zbliżamy się do momentu, kiedy zacniemy je kontrolować. Z punktu widzenia techniki będzie to coś wystrzałowego. Niewykluczone, że w niedalekiej przyszłości będzie można prowadzić kwantowe obliczenia na pełną skalę".¹⁸⁰

Optymizm uczonych ma swoje źródła w postępie prac badawczych w dwu laboratoriach. Konstruowane są w nich pewne elementy komputera kwantowego. W Caltech prace prowadzone są pod kierunkiem Jeffa Kimble'a, a w Narodowym Instytucie Standaryzacji i Techniki w Boulder w stanie Kolora-do badaniami kierują David Wineland i Chris Monroe. Naukowcy z tej ostatniej placówki badają układy atomów rtęci ustawionych w szereg. Każdy atom ma spin skierowany do góry lub do dołu. Padające na układ światło lasera może spowodować zmianę spinu któregoś z atomów. W zasadzie światło, które opuściło łańcuch atomów rtęci, niesie ze sobą informację o wszystkich możliwych stanach siatki. Problem polega na tym, że nikt nie wie, jak tę informację odczytać.

Może się okazać, że na prawdziwy postęp w tej dziedzinie trzeba będzie poczekać do połowy przyszłego stulecia. Ale problem komputerów kwantowych wciąż pobudza wyobraźnię informatyków. Jest to w pewnym sensie ostateczna granica komputerowych możliwości. Niewykluczone, że komputery kwantowe, o których mówi się coraz więcej, rzeczywiście pojawią się w drugiej połowie XXI wieku.

¹⁷⁹ "Discover", październik 1995, Discover magazine Web Page.

¹⁸⁰ *Ibidem*.

Istnieje wszakże jeszcze inna metoda osiągnięcia mocy obliczeniowych wyrażanych w petaflopach. Polega ona na wykorzystaniu urządzenia, które zbliża się do granicy petaflopowej szybkości przetwarzania danych - naszego mózgu.

Bionika

Czy będziemy mogli zastosować jakiś interfejs, który pozwoli nam wykorzystać fantastyczne możliwości mózgu?

Uczeni prędko podjęli takie badania. Pierwszym krokiem do wykorzystania ludzkiego mózgu jest wykazanie, że pojedyncze neurony mogą istnieć i rozwijać się na płytce krzemowej. Potem należy przyłączyć płytkę krzemową wprost do żywego neuronu w organizmie zwierzęcia, na przykład robaka. Następnym etapem powinno być udowodnienie, że również ludzkie neurony można podłączyć do krzemowego mikroprocesora. I w końcu, aby podłączyć interfejs bezpośrednio do mózgu, uczeni muszą odczytać miliony neuronów tworzących rdzeń kręgowy (a to jest najtrudniejsza część programu).

W 1995 roku w Instytucie Maxa Plancka, niedaleko Monachium, grupa biofizyków pod kierunkiem Petera Fromherza przeprowadziła eksperyment o ogromnym znaczeniu naukowym. Badacze ci ogłosili, że udało im się wytworzyć pracujące połączenie neuronu pijawki z kością mikroprocesora - spoić hardware z "wetware". Pobudzony neuron wysyłał sygnał do mikroprocesora, a sygnał z chipa pobudzał neuron. Metody zastosowane przez zespół Fromherza powinny okazać się przydatne także w pracy nad neuronami ludzkimi.

Fromherz i jego współpracownicy musieli uporać się z dwoma poważnymi problemami. Po pierwsze, neurony są niezwykle delikatne i cienkie, dużo cieńsze niż włos. Po drugie, napięcia stosowane podczas doświadczeń mogą neuron uszkodzić lub nawet zabić. Aby przezwyciężyć pierwszą z tych przeszkód, Fromherz użył neuronów ze zwojów nerwowych pijawki. Wypustki aksonowe tych neuronów są dość grube, mają około 50 mikrometrów średnicy, co jest równe połowie średnicy ludzkiego włosa. Aby poradzić sobie z problemem napięć, zbliżano neurony - za pomocą mikroskopu i sterowanych komputerowo mikromanipulatorów - na odległość około 30 mikrometrów do tranzystora na płytce. W ten sposób można było indukować sygnał bez przepływu prądu elektrycznego. (Jeśli silnie potrzymamy nadmuchany balonik i zbliżymy go do płynącego z kranu strumienia wody, zauważymy, że struga wody lekko odchyła się i odsuwa od balonika, mimo że w ogóle go nie dotknie. Podobnie jest tutaj - neuron nie dotyka płytki krzemowej).

Prace Fromherza otworzyły drogę ku stworzeniu mikroprocesorów, dzięki którym można pobudzać neurony kontrolujące ruchy mięśni.

Jak dotąd Fromherzowi udało się wytworzyć 16 połączeń pomiędzy pojedynczym neuronem a procesorem. W następnych doświadczeniach zamierza on wykorzystać neurony pochodzące z hipokampa mózgu szczura. Chociaż komórki hipokampa są o wiele mniejsze niż neurony ze zwojów nerwowych pijawki, mają one tę zaletę, że pozostają żywe przez kilka miesięcy, podczas

gdy neurony pijawek giną po kilku tygodniach.

Kolejny bardzo ważny eksperyment przeprowadził w 1996 roku Richard Potember z Uniwersytetu Johnsa Hopkinsa. Udało mu się doprowadzić do tego, że neurony młodych szczurów zaczęły rosnać na powierzchni płytki krzemowej, na którą naniesiono pożywkę białkową. Neurony te wypuściły dendryty i aksony, zupełnie jak zwykle neurony w tkance.¹⁸¹

Potember i jego zespół zamierzają docelowo hodować neurony w taki sposób, żeby ich aksony i dendryty układały się w pewien z góry zaplanowany wzór, wytwarzając w ten sposób "żywe obwody" na powierzchni krzemu. Jeśli się to uda, neurony zostaną zmuszone do przyjęcia zaprojektowanej architektury obwodów logicznych na chipie.

Grupa lekarzy z Poradni Okulistyczno-Audiologicznej stanu Massachusetts Wydziału Medycyny Uniwersytetu Harvarda prowadzi prace mające na celu zbudowanie bionicznego oka. Uczni ci mają nadzieję, że w ciągu pięciu lat uda im się opracować metodę umożliwiającą implantację procesorów wprost do ludzkiego oka. Jeśli ich plan się powiedzie, w XXI wieku możliwe stanie się przywracanie wzroku niewidomym.

"Opracowaliśmy elektronikę, potrafimy już umieścić to urządzenie w gałce ocznej bez jej uszkodzenia i udowodniliśmy, że użyte materiały są biologicznie kompatybilne" - mówi Joseph Rizzo. Badacze z Harvardu stworzyli implant składający się z dwu chipów. Jedna z płytek jest światłoczułym panelem. Padające na niego światło powoduje powstanie sygnałów światła laserowego. W drugim panelu rozbłyski te wytwarzają impulsy, przekazywane następnie do mózgu.

Bioniczne oko byłoby nieocenionym darem dla niewidomych, którzy mają co prawda uszkodzoną siatkówkę, ale ciągle sprawne połączenia nerwowe oka z mózgiem. Dziesięć milionów Amerykanów cierpi na zwyrodnienie plamki żółtej, formę uszkodzenia wzroku występującą najczęściej wśród ludzi starszych. Dalsze 1,2 miliona dotkniętych jest barwnikowym zapaleniem siatkówki (łac. *retinitis pigmentosa*), dziedziczną formą ślepoty.

Z dotychczas przeprowadzonych badań wynika, że można elektrycznie stymulować uszkodzone pręciki i czopki w siatkówce oka zwierząt, dzięki czemu powstają sygnały odbierane w korze mózgowej. W przyszłości możliwe stanie się podłączanie wprost do mózgu sztucznych oczu, które zapewnią nam znacznie lepszą ostrość i wszechstronność widzenia niż nasze własne oczy. Ludzkie oko jest bardzo podobne do oka małpy. Podobnie jak małpy, potrafimy rozróżniać tylko pewne barwy i nie widzimy kolorów postrzeganych przez inne zwierzęta (na przykład pszczoły widzą również w nadfiolecie). Sztuczne oko mogłoby zapewnić nam nadludzkie możliwości. Moglibyśmy dysponować mikroskopową lub teleskopową perspektywą albo postrzegać świat w podczerwieni czy nadfiolecie. Tak więc w przyszłości możliwe stanie się rozszerzenie zdolności widzenia poza zakres normalnego postrzegania.¹⁸²

Po 2020 roku powinniśmy już umieć przyłączać wprost do układu nerwowego mikroprocesory

¹⁸¹ "Science News", 6 kwietnia 1996, s. 223.

¹⁸² Pod warunkiem, oczywiście, że mózg nauczyłby się rozróżniać i analizować te nowe informacje (przyp. red.).

sterujące sztucznymi rękami, nogami i oczami. Miałyby to ogromne znaczenie dla osób niepełnosprawnych. Ale chociaż można będzie wyposażyć człowieka w potężne ramiona mechaniczne, nie ziszczą się nasze marzenia o dokonywaniu nadludzkich wyczynów, bo byłyby one nazbyt obciążające dla ludzkiego szkieletu. Aby dysponować nadludzką siłą, musielibyśmy mieć nadludzkie szkielety, zdolne do wytrzymania wszystkich przekraczających ludzkie możliwości naprężeń i uderzeń.

Połączenie umysłu z maszyną

Wydaje się, że koło roku 2020 uczeni będą już potrafili łączyć wiele narządów ludzkiego ciała z krzemowymi chipami. Dzięki temu możliwe stanie się ponowne uaktywnienie sparaliżowanych lub nie funkcjonujących narządów. Ponieważ do sterowania wieloma narządami potrzebne są jedynie niewielkie ilości neuronów, "okablowanie" tych organów powinno być stosunkowo łatwe. Znacznie trudniejsze może okazać się przyłączenie mikroprocesorów do układu nerwowego.

Liczba neuronów w rdzeniu kręgowym jest tak wielka, że w przewidywalnej przyszłości nie uda się przyłączyć do elektrod nawet nieznaczącej ich części. Przypomina to chęć podpięcia się, bez żadnego planu lub instrukcji, do sieci kabli telefonicznych łączących Nowy Jork z resztą świata. System połączeń nerwowych w mózgu jest tak rozbudowany i delikatny, że zespolenie go z komputerem lub siecią neuronową bez spowodowania w nim trwałych uszkodzeń nie wydaje się obecnie możliwe.

Nasza wiedza o mózgu jest bardzo powierzchowna. Potrafimy tylko w przybliżeniu określić (na podstawie obserwacji osób z uszkodzeniami mózgu i analizy obrazów PET), które obszary mózgu są związane z funkcjonowaniem określonych części organizmu. Jedynie na poziomie strukturalnym badacze rozpoznają, które rejony mózgu wiążą się z odpowiednimi funkcjami. Zrozumienie systemu połączeń nerwowych na poziomie komórkowym nie wydaje się obecnie możliwe, tak jak nie sposób zrozumieć funkcjonowania nowoczesnego, zindustrializowanego społeczeństwa, z jego sztuką, literaturą, nauką, handlem i polityką, mając do dyspozycji jedynie mapę autostrad.

Prawdopodobnie dopiero w XXII wieku uczeni zaczną rozszyfrowywać system połączeń nerwowych w mózgu. Możliwości manipulowania tym systemem pojawią się zapewne jeszcze później.

Pracujący w Xeroxie Ralph Merkle obliczył, ile czasu i pieniędzy będą potrzebować uczeni, aby rozwiązać zagadkę wszystkich połączeń nerwowych w mózgu.¹⁸³ Należy pociąć ludzki mózg na miliony plasterków, a następnie zbadać każdy z nich pod mikroskopem elektronowym. Fotografie tych fragmentów, wprowadzone do pamięci komputera, powinny zostać przeanalizowane przy użyciu zautomatyzowanych programów do rozpoznawania obrazów. Na tej podstawie uczeni powinni odtworzyć trójwymiarowy obraz mózgu, ukazujący cały system połączeń nerwowych. Ponieważ w mózgu znajduje się około 200 miliardów komórek nerwowych, każda połączona z 10

¹⁸³ Ralph Merkle Home Page, Xerox PARC.

tysiącami innych neuronów, jest to rzeczywiście zadanie wymagające zręczności Herkulesa. Badania mające na celu rozpoznanie wszystkich połączeń w mózgu byłyby przedsięwzięciem na miarę projektu poznania genomu człowieka (*Human Genome Project*).¹⁸⁴ Merkle szacuje, że przy zastosowaniu obecnie znanych technik trzeba by przeznaczyć na takie badania olbrzymią sumę 340 miliardów dolarów. Ale jeśli prawo Moore'a będzie nadal obowiązywać, ceny powinny pójść w dół. Toteż Merkle przypuszcza, że techniki badań, które pojawią się koło 2010 roku, będą na tyle tanie, iż uczeni będą mogli pokusić się o rozwiązanie tego zadania. Badania nad układem połączeń nerwowych w mózgu powinny trwać mniej więcej 3 lata, a ich koszt nie powinien przekroczyć 120 milionów dolarów.

Ale nawet wówczas, gdy sporządzimy już dokładną mapę połączeń nerwowych, nadal nie będziemy wiedzieli, jak naprawdę przesyłane są sygnały w tym układzie i jak narządy ciała podłączone są do układu nerwowego.

Wszystkie te trudności nie powstrzymują niektórych badaczy od snucia rozważań na temat hybryd umysł-maszyna, które zostaną stworzone w odległej przyszłości.

Odległa przyszłość: hodowla cyborgów w laboratorium

Niektórzy uczeni sądzą, że w przyszłości ostateczny kierunek nada poszukiwaniom badawczym połączenie się efektów trzech rewolucji naukowych. Mechanika kwantowa powinna dostarczyć kwantowych tranzystorów mniejszych od neuronu. Rewolucja komputerowa doprowadzi do powstania sieci neuronowych o możliwościach mózgu. Dzięki rewolucji biomolekularnej będziemy mogli zastępować sieci neuronowe w mózgu ich syntetycznymi odpowiednikami, zapewniając sobie w ten sposób coś w rodzaju nieśmiertelności.

Ewolucja zawsze faworyzowała organizmy o największych zdolnościach przystosowawczych. Być może w przyszłości istoty łączące w sobie cechy ludzi i maszyn okażą się organizmami najlepiej przystosowanymi do przetrwania. Niewykluczone więc, że ludzie sami stworzą reprezentantów następnego etapu ewolucji.

Co nas czeka w odległej przyszłości, kiedy będziemy już potrafili manipulować pojedynczymi neuronami? Załóżmy, że pod koniec XXI wieku lub nieco później urzeczywistnią się idee Merkle'a dotyczące odwzorowania każdego neuronu w mózgu.

Czy będziemy mogli wówczas dać naszym mózgom nieśmiertelne ciała?

Hans Moravec w swojej wydanej w 1988 roku książce *Mind Children [Dzieci umysłu]* opisuje "nieśmiertelne" istoty powstałe z połączenia ludzi i maszyn. Moravec przewiduje, że w odległej przyszłości będziemy mogli "przesiadać się" z naszych ciał do maszyn, i to bez utraty świadomości. Chirurg będzie usuwał z mózgu niewielki kłębek neuronów i natychmiast podłączał go do sieci neuronowej w metalowej czaszce robota, gdzie zostanie skopiowany sposób działania wszystkich usuniętych neuronów. Nie tracąc świadomości, mózg, kawałek po kawałku, będzie odwzorowywany na mechanicznym nośniku neuronów elektronowych. Po dokonaniu "przeszczepu" robot uzyska dostęp do całej pamięci i schematów myślenia osoby, od której

¹⁸⁴ W rzeczywistości - nieporównanie większym (przyp. red.).

pochodził mózg. Organ ten będzie się teraz znajdował w masie krzemu i stali, co powinno zapewnić mu "życie wieczne".

Oczywiście, nie należy się spodziewać, że już w przyszłym stuleciu uczeni opanują technologię manipulowania pojedynczymi neuronami, nie wspominając już o przenoszeniu ich funkcji na sieć neuronową. Ale problem jest dobrze sformułowany. Jeśli opisany powyżej scenariusz okaże się realny, być może stworzymy podstawy następnego kroku w ewolucji człowieka.

Jednym z badaczy, którzy zupełnie serio traktują takie fantastyczne pomysły, jest Marvin Minsky, pionier badań nad sztuczną inteligencją. Sądzi on, że zamiast selekcji naturalnej, dzięki której kolejne etapy ewolucji dokonują się metodą prób i błędów, pojawi się dobór nienaturalny: badacze sztucznej inteligencji będą kopiować ludzki mózg neuron za neuronem.¹⁸⁵

Jak jednak zareagują ludzie, kiedy obudziwszy się pewnego ranka stwierdzą, że ich ciało jest mieszaniną plastyku i stali? Kiedy Minsky zadawał tego typu pytania innym uczonym, zazwyczaj ich odpowiedź brzmiała: "Jest tak wiele rzeczy, które chciałbym poznać, i tak wiele problemów, które chciałbym rozwiązać, że przydałoby mi się kilka dodatkowych stuleci".

"Czy roboty odziedziczą po nas Ziemię? - zastanawia się Minsky. - Chyba tak, lecz będą one naszymi dziećmi. Rozum

zawdzięczamy niezliczonym życiom i śmierciom wszystkich organizmów, które uczestniczyły w bezpardonowej walce, zwanej ewolucją. Naszym obowiązkiem jest zadbać o to, by ich ofiara nie poszła na marne".¹⁸⁶

* * *

Rewolucja komputerowa niewątpliwie wywrze wpływ na życie całej ludzkości, otwierając przed nią nowe, niezwykle ciekawe horyzonty. Powstaną być może komputery DNA, maszyny przetwarzające petafropy informacji na sekundę czy wreszcie cyborgi. Są to jednak tylko możliwości, nie rzeczywiste rozwiązania. Ostateczne wybory będą należały do człowieka. To my musimy zdecydować, jak wiele władzy przekażemy stworzonym przez nas istotom. Czy pozostaniemy panami maszyn, czy też one staną się naszymi władcami?

¹⁸⁵ Nie jest to takie głupie, jak się na pierwszy rzut oka wydaje. Po pierwsze, mówi Minsky, umysł ludzki wcale nie wie tak dużo. Thomas K. Landauer z Bellcore wyliczył, że średnio ludzie uczą się z szybkością nie większą niż dwa bity na sekundę. Minsky więc argumentuje: "Gdybyśmy uczyli się w tym tempie 12 godzin dziennie przez 100 lat, przyswoilibyśmy około trzech miliardów bitów, czyli mniej, niż zawiera zwykły CD-ROM" (Marvin Minsky: Nie będzie nas, będą roboty?, "Świat Nauki", grudzień 1994, s. 94).

Po drugie, Minsky wierzy, że w przyszłości stworzona zostanie technologia umożliwiająca transfer umysłu, tak jak to przewiduje Moravec. Dzięki nanotechnologii możliwe stanie się konstruowanie urządzeń o wymiarach mniejszych niż grubość włosa ludzkiego. Zespół takich mikrorobotów mógłby pewnego dnia odtworzyć w stosie neuronów krzemowych dokładnie taki sam układ połączeń, jaki istnieje w mózgu. Minsky pisze: "Gdybyśmy mieli milion automatów, z których każdy wykonywałby tysiąc części na sekundę, zrobilibyśmy to w parę minut" (*ibidem*, s. 95). Wywiad z Moravcem.

¹⁸⁶ *ibidem*, s. 95.

PO DŁUŻSZYM NAMYŚLE

Czy ludzie staną się zbędni?

*Mylić się jest rzeczą ludzką, ale naprawdę wprowadzić w błąd
można dopiero za pomocą komputera.*

“FARMER/S ALMANAC”, 1978

Komputery potrafią rozwiązać każdy problem na świecie.

Oprócz bezrobocia, którego są przyczyną.

ANONIM

*[Światpostbiologiczny] będzie światem, w którym rasa ludzka zostanie zmieciona
przez fale zmian kulturowych, wywołanych uzurpatorskimi zapędami własnego
potomstwa [...] Kiedy ten czas nadejdzie, DNA -przegrawszy wyścig ewolucyjny
w nowym rodzaju współzawodnictwa — stanie się bezużyteczny.*

HANS MORAVEC

Z rewolucją komputerową łączą się dwie, całkowicie odmienne wizje przyszłych wydarzeń. Niektórym uczonym przyszłość jawi się jako czas pomyślności i przyjemności, jako świat bezpośredniej, natychmiastowej łączności, nieograniczonej wiedzy, nieprawdopodobnych udogodnień i zabawy na całego. Moce obliczeniowe komputerów będą potężniały zgodnie z prawem Moore'a. Narodzą się nowe, prężne gałęzie gospodarki i nowe rodzaje zajęć - cyberzawody związane z pracą w najwyższej rozwiniętych dziedzinach przemysłu. Już teraz komputery odgrywają tak istotną rolę, że bez nich nie mogłyby funkcjonować banki, przedsiębiorstwa lotnicze i ubezpieczeniowe, a nawet rząd federalny.

Istnieje wszakże i mroczna wizja przyszłości. Oto komputery przyczynią się do powstania koszmarnego świata, jaki ukazał Orwell w swojej powieści *Rok 1984*. Totalitarna władza zacznie kontrolować każdy aspekt naszego życia. Wszędzie ukryte będą elektroniczne urządzenia podsłuchowe. Społeczeństwo zostanie poddane kontroli Wielkiego Brata oraz armii donosicieli, cenzorów i szpicli. Historia zostanie napisana od nowa, zgodnie z wolą okrutnego biurokratycznego reżimu kontrolującego przepływ informacji.

Co ciekawe, dzisiejsze urządzenia podsłuchowe są dużo doskonalsze i czulsze niż te, które powstały w wyobraźni Orwella. A jednak ciągle możemy cieszyć się podstawowymi swobodami demokratycznymi. Czytając powtórnie *Rok 1984*, stwierdzamy ze zdumieniem, że opisane tam urządzenia elektroniczne są znacznie prymitywniejsze od dzisiejszych. A przecież pojawienie się

komputera i Internetu zwiększyło raczej niż zmniejszyło swobodę głoszenia poglądów i dostęp do informacji. Dla wielu ludzi Internet stał się sojusznikiem faktycznej demokratyzacji i decentralizacji, czynnikiem osłabiającym dyktatury i autorytarne reżimy. Ponieważ informacja może dotrzeć do milionów ludzi na całym świecie za jednym wciśnięciem klawisza, rządy tyranów skazane są na ciągły ostrzał. Niemniej istnieją pewne realne zagrożenia. Pierwsze dotyczy ograniczenia swobód obywatelskich (naruszanie dóbr osobistych, cenzura, podsłuch). W następnym stuleciu podstawowe swobody demokratyczne znajdują się w niebezpieczeństwie. Podczas gdy jedni będą tworzyć coraz to doskonalsze tajne kody, inni będą wymyślać coraz to skuteczniejsze sposoby ich rozszyfrowywania. Drugie zagrożenie mające swe źródło w rewolucji komputerowej związane jest z systemem podziału dóbr na naszej planecie. Ulegnie on niebezpiecznej deformacji i miliony ludzi wylądują w kolejkach po darmową zupę. Społeczeństwo może coraz bardziej różnicować się na warstwę posiadaczy informacji oraz "biedaków" nie mających do niej dostępu. Proces ten, który już teraz można obserwować w małej skali, nabierze rozpędu w przyszłym stuleciu. Jeszcze później, w drugiej połowie XXI wieku zagrożeniem dla ludzkości mogą stać się "świadome" roboty. Mimo że na razie niebezpieczeństwo to wydaje się mało realne, uczeni już dziś zastanawiają się, w jaki sposób powinno się nadzorować roboty, które z czasem zaczną objawiać coraz więcej cech ludzkich.

Podsłuch w Internecie

Media prześcigają się w doniesieniach o włamaniach do tajnych systemów, komputerowych dowcipach i zwykłym złodziejstwie. Czy istnieje zatem doskonały kod, którego nie potrafiłby złamać nawet najbardziej przebiegły haker?

W 1918 roku Gilbert S. Vernam z AT&T stworzył słynny szyfr Vernama. W roku 1940 matematycznie udowodniono, że jest on niemożliwy do złamania. Niestety, szyfr Vernama jest nadzwyczaj niewygodny i niepraktyczny. (Zarówno nadawca, jak i odbiorca muszą znać długi ciąg utajnionych liczb losowych). Uproszczone wersje szyfru Vernama używane są do dzisiaj, ale powszechnie się uważa, że niektóre z nich można złamać.

W ciągu najbliższych dwudziestu lat sytuacja powinna ulec zasadniczej zmianie. Spowoduje ją wprowadzenie nowych sposobów szyfrowania informacji. Metody szyfrowania nie będą już pochodziły ze świata matematyki - dostarczy ich mechanika kwantowa. Nowa dziedzina mechaniki kwantowej, zwana kryptografią kwantową, ma do 2020 roku zupełnie zrewolucjonizować system ochrony informacji. W tym punkcie przecinają się drogi Jamesa Bonda i Wernera Heisenberga. Na czym rzecz polega? Zaczniemy od tego, że każdy podsłuch telefoniczny zaburza sygnały przesyłane podczas rozmowy. Ponieważ część informacji zawarta w wysłanym przekaziu ulega zdeformowaniu, zaburzenie może zostać wykryte.

Oznacza to, że każda obserwacja dowolnego obiektu zmienia jego stan. Aby wykryć, na przykład, czy telefon jest na podsłuchu, należy sprawdzić napięcie na zaciskach linii telefonicznej. Urządzenie podsłuchowe pobiera część energii, napięcie na linii, na której je założono, jest więc

mniejsze.

W mechanice kwantowej dzieje się podobnie, ale na znacznie wyższym poziomie. Teoria kwantowa mówi: bez względu na to, jak delikatne jest urządzenie podsłuchowe, dokonanie pomiaru zawsze zaburza przesyłany sygnał.

W kryptografii kwantowej wykorzystywany jest fakt, że światło może być spolaryzowane. Światło jest falą, w której drgania pola elektromagnetycznego odbywają się wzdłuż pewnego ustalonego w przestrzeni kierunku (prostopadłego do kierunku rozchodzenia się fali). Jeśli wiązka światła porusza się w naszym kierunku, pole drga w kierunkach pionowym i poziomym. (Efekt polaryzacji wykorzystywany jest w okularach przeciwsłonecznych, których szkła redukują natężenie fal świetlnych o wektorach elektrycznych drgających w "niewłaściwych" kierunkach). Fizycy kwantowi wykorzystują to zjawisko do przesyłania wiadomości za pomocą wiązki światła spolaryzowanego, w której zmienia się kierunek polaryzacji. Jeśli wytworzymy sygnał składający się z części o różnych polaryzacjach (powiedzmy, kierunkowi polaryzacji pionowej odpowiadać będzie 1, a poziomej 0), to w wysłanym dłuższym impulsie możemy zapisać informację cyfrową w postaci zer i jedynek.

Zgodnie z prawami mechaniki kwantowej, jeśli jakiś intruz podejrzy wiadomość przesyłaną za pomocą wiązki światła, w którymś miejscu wiązki pojawi się błędna polaryzacja. Odbiorca natychmiast się zorientuje, że podczas transmisji nastąpiła ingerencja w zawartość przekazu.

Na pojawienie się komputerów kwantowych będziemy zapewne czekać jeszcze wiele dziesięcioleci, natomiast pierwsze aparaty do kryptografii kwantowej już istnieją. Prototyp takiego urządzenia został zademonstrowany w 1989 roku.¹⁸⁷

"Za parę lat kryptografia kwantowa stanie się dziedziną czysto techniczną - mówi James D. Franson z Uniwersytetu Johns Hopkinsa, uczonek prowadzący własne badania nad kryptografią. - Udowodniliśmy już, że można bezpiecznie przesyłać wiadomość pomiędzy dwoma budynkami odległymi o ponad 150 metrów".¹⁸⁸

Rok 1996 przyniósł kolejny przełom. Wykorzystując promieniowanie podczerwone, badacze przesłali światłowodem utajnioną wiadomość z miasta Nyon (Szwajcaria) do odległej o 22,7 kilometra Genewy. Dowodzi to, że nawet abstrakcyjne Prawa mechaniki kwantowej mogą znaleźć praktyczne zastosowanie w realnym świecie.

Ponieważ moc obliczeniowa rośnie w błyskawicznym tempie, już niebawem komputery będą potrafiły złamać większość kodów szyfrowych. Toteż w przyszłości znaczną część ważnych wiadomości będzie się przesyłać za pomocą metod kryptografii kwantowej. Niewykluczone, że duże korporacje i inne ważne instytucje już na początku przyszłego wieku będą wykorzystywać kryptografię kwantową do ochrony tajnych danych. Tak więc, chociaż w nadchodzących dekadach problem utajniania informacji stanie się z pewnością przedmiotem zawziętych dyskusji, kwestia zabezpieczania danych została już w zasadzie rozwiązana.

¹⁸⁷ Charles H. Bennett, Giles Brassard, Artur K. Ekert: Kryptografia kwantowa, "Świat Nauki", grudzień 1992, s. 30.

¹⁸⁸ "Science News", 10 lutego 1996, s. 92.

Wypadek na autostradzie informacyjnej

Powstanie autostrady informacyjnej spowoduje, że jeszcze przed 2020 rokiem jedne gałęzie przemysłu upadną, a inne zaczną się błyskawicznie rozwijać. Sytuacja będzie podobna do tej, która powstała po zbudowaniu pierwszych tras kolei żelaznej w XIX wieku - niewielkie miasteczka leżące z dala od kolei wymierały, a miejscowości położone w jej pobliżu rozwinęły się w potężne ośrodki władzy i kapitału.

O niebezpieczeństwach, które niesie ze sobą rewolucja komputerowa, opowiada powszechnie znana, choć prawdopodobnie zmyślona historyjka z czasów Wielkiego Kryzysu. Pewnego razu Henry Ford spotkał się z przywódcą związkowym, Walterem Reutherem. Wskazując z dumą na rząd błyszczących, nowiutkich maszyn, które miały zastąpić robotników, Ford zapytał z pogardą w głosie:

- No i co, panie Reuther, gdzie są pańscy robotnicy?
- A gdzie są pańscy klienci, panie Ford? - spokojnie odparł Reuther.

Ponieważ znamy już nie tylko mocne strony, ale i słabości komputerów, potrafimy przewidzieć, którym zawodom rewolucja komputerowa może zagrozić w najbliższych dekadach. W grę wchodzi trzy główne rodzaje zawodów:

- Zawody polegające na wykonywaniu powtarzających się czynności. (Najbardziej narażoną na zwolnienia grupą zawodową są robotnicy fizyczni zatrudnieni przy produkcji taśmowej).
- Zawody typowo urzędnicze.
- Zawód pośrednika.

Pierwszy z tych zawodów zagrożony jest już od dziesięcioleci. Bardziej zaskakujące jest to, że w latach dziewięćdziesiątych komputeryzacja zagroziła licznym zajęciom klasy średniej, które wymagają pewnego wykształcenia: zawodowi urzędnika i pośrednika. Rozwój Internetu sprawi, że ten kierunek przeobrażeń nie tylko się utrzyma, lecz przemiany te będą następować jeszcze szybciej.

"Internet może zadać śmiertelny cios wszystkim zawodom związanym z pośrednictwem: agentom ubezpieczeniowym, maklerom, biurom podróży, dealerom samochodowym. Uderzy to w każdego, kto ma podobne zajęcie" - twierdzi Jeffrey Christian, szef firmy doradztwa personalnego w Cleveland.¹⁸⁹

Andrew Grove, dyrektor Intela, kieruje ostrzeżenie pod adresem firm korzystających z obszernych baz danych: "Internet postrzegałbym jako ogromną falę, która zbliża się ku mnie i chce mnie pochłoniąć. Uciekałbym w popłochu, reorganizując system rezerwacji, system zamówień i wszystkie bazy danych tak, żeby wkrótce moi klienci mogli uzyskać wszelkie potrzebne im informacje wprost z domowego komputera".¹⁹⁰

Zagrożone przez Internet są biura podróży, banki, sklepy, wypożyczalnie, maklerzy giełdowi. Już dzisiaj, na przykład, Security First Network Bank w Pineville, w stanie Kentucky, całą swoją

¹⁸⁹ "Wall Street Journal", 17 czerwca 1996, s. R26.

¹⁹⁰ "Newsweek", 2 września 1996, s. 63.

działalność prowadzi przez Internet. Bez kasjerów, kolejek, oczekiwania. I bez oddziałów.

“To wszystko nie jest już nam potrzebne - szczyty się James S. Mahan III, prezes Security First. - Kasjerzy podzielą wkrótce los miłych telefonistek, które niegdyś w trakcie łączenia rozmowy ucinęły sobie pogawędki z klientami”.

“Elektroniczny handel i usługi wyzwolą pracowników od uciążliwych zajęć i umożliwią im wykonywanie bardziej produktywniej, lepiej płatnej pracy. Ale w sumie zmiany te dotkną boleśnie bardzo wielu ludzi” - pisze “The Wall Street Journal”.¹⁹¹ Najważniejsze pytanie brzmi: czy rewolucja komputerowa naprawdę Przyczyni się do powstania nowych zawodów oraz czy doprowadzi do rozkwitu gospodarczego i wzrostu wydajności?

Eliminacja pośrednictwa może rzeczywiście zwiększyć sprawność gospodarki. W XIX wieku w Ameryce drogi były własnością prywatną. Przejeżdżające nimi wozy musiały płacić myto. Wiele szlaków komunikacyjnych przegradzała szlaban i dopiero po wniesieniu przez podróżnych stosownej opłaty dróżnik podnosił poprzeczkę i pozwalała jechać dalej. Ten archaiczny system, w znacznym stopniu utrudniający kontakty pomiędzy stanami, istniał dopóty, dopóki władze stanowe nie zaczęły wykupywać dróg i nie stworzyły nowoczesnego systemu komunikacyjnego. Eliminacja pośrednika (dróżnika) znacznie przyspieszyła rozwój handlu, przyczyniając się tym samym do powstania milionów nowych miejsc pracy i do stworzenia nowoczesnego państwa przemysłowego.

A oto następny przykład, również pochodzący z ostatniego stulecia: Niegdyś tysiące ludzi wykonywały zawody kowali, stelmachów, woźniców, stajennych, ujeżdźaczy i hodowców koni. Większość tych zajęć zniknęła wraz z pojawieniem się silnika spalinowego i samochodu. Z kolei samochód przyczynił się do powstania prężnego i potężnego przemysłu. Pojawiły się nowe rodzaje zawodów - mechanicy, robotnicy zatrudnieni przy taśmach montażowych, dealerzy, pracownicy warsztatów naprawczych i stacji benzynowych. Przesiadka z powozu do samochodu odbiła się nawet na naszym sposobie myślenia, przyczyniając się do powstania nowych zwyczajów i postaw związanych z praktycznie nieograniczoną swobodą przemieszczania się. Dziś powszechnie się uważa, że wskoczenie do samochodu i pojechanie tam, gdzie się nam żywnie podoba, jest naszym przyrodzonym prawem.

Jest również wiele negatywnych konsekwencji tego stanu rzeczy - zanieczyszczenie środowiska, tłok na drogach, ucieczka na obrzeża miast. Niewłaściwa polityka podatkowa spowodowała, że śródmieścia dużych miast zamieniły się w olbrzymie slumsy. W wypadkach samochodowych ginie rocznie 40 tysięcy Amerykanów (niemal tyle samo, ile podczas wojny w Wietnamie). Jest to cena, jaką płacimy za nasze “przyrodzone prawo”.

Wszystko ma swoje dobre i złe strony. Nie czas jednak zastanawiać się nad tym, czy konne powozy były ładniejsze od dzisiejszych samochodów. Ważne jest, aby dzięki rozwojowi nowych gałęzi przemysłu gospodarka stała się wydajniejsza, a społeczeństwo jako całość - bardziej produktywnie i bogatsze.

¹⁹¹ “Wall Street Journal”, 17 czerwca 1996, s. R26.

Zawody z perspektywą

Jakie rodzaje zajęć będą rozkwitać w 2020 roku? Które zawody nie poddadzą się naporowi komputeryzacji? Powinno ich być dość sporo.

Ponieważ znamy już słabe strony komputera, wiemy, że wiele rodzajów zawodów przetrwa następne półwiecze. "Popyt na usługi świadczone przez ludzi jest nieograniczony" - twierdzi Paul Krugman, ekonomista z MIT.¹⁹²

Poniżej przedstawiono listę zawodów, które prawdopodobnie nie przestaną rozkwitać nawet wówczas, gdy powstanie już informacyjna autostrada. Lista ta nie obejmuje zajęć, które przetrwają dzięki specjalizacji i nastawieniu na indywidualne potrzeby klientów.

Rozrywka. Pisarze, piosenkarze, muzycy, aktorzy - wszystkie osoby dostarczające rozrywki innym będą miały się coraz lepiej. Dzięki rosnącej ilości czasu wolnego wzrośnie popyt na nowe rodzaje rozrywki. Już teraz rozrost sieci telewizji kablowej powoduje, że zwiększa się zapotrzebowanie na nowe rodzaje programów. Zupełnie nowe gatunki rozrywki przyczynią się do powstania całych gałęzi przemysłu.

Oprogramowanie. Chociaż cena mikroprocesora może spaść w 2020 roku poniżej centa, zajęć dla programistów będzie co niemiara. Kości mikroprocesorów staną się w końcu artykułem powszechnego użytku. Pisanie oprogramowania wymaga twórczego talentu matematycznego, którego nie można zaprogramować. Przemysł gier wideo, którego parę lat temu w ogóle jeszcze nie było, ma obecnie większe obroty niż cały Przemysł filmowy. Istnieje też ogromne zapotrzebowanie na in-ormatyków, którzy potrafią projektować atrakcyjne strony WWW. Również rzeczywistość wirtualna wymaga olbrzymiej liczby programów. Komputer może więc pozbawić wielu ludzi

pracy, ale samo tworzenie oprogramowania nie ulegnie skomputeryzowaniu .

Nauka i technika. Komputery nie potrafią tworzyć nowych teorii naukowych. Mimo że rynek pracy dla naukowców i inżynierów podlega fluktuacjom odzwierciedlającym wahania koniunktury gospodarczej, talenty techniczne są zawsze w cenie. A nowe wynalazki stają się fundamentem nowych gałęzi przemysłu.

Usługi. Kierowcy, lokaje, pokojówki, instruktorzy, ochroniarze, portierzy, policjanci, prawnicy, nauczyciele muzyki i prywatni korepetytorzy są ludźmi, którzy wchodzą w dość delikatne interakcje z mnóstwem innych osób. Wykonywanych przez nich zajęć nie da się skomputeryzować. Turystyka, najszybciej rozwijający się przemysł na świecie, daje zatrudnienie wielu pilotom wycieczek, pracownikom hoteli, służbie hotelowej. Co więcej, dzięki komputerom turystyka będzie coraz lepiej zorganizowana, a dzięki Internetowi również szerzej dostępna.

Rzemiosło i zajęcia wymagające wysokich kwalifikacji. Wysoko wykwalifikowanych fachowców, pracowników budowlanych, mechaników, hydraulików, drogowców, leśników, nauczycieli itp. nie można łatwo zastąpić wyrobami masowej produkcji. Żadne z tych zajęć nie przypomina pracy przy taśmie produkcyjnej. Każde nowe zadanie niesie za sobą nowy rodzaj

problemów. Niektóre zajęcia, na przykład nauczanie, mogą zostać częściowo zautomatyzowane i zastąpione korzystaniem z Internetu, ale osobisty kontakt ucznia z nauczycielem będzie w pewnych nietypowych sytuacjach nieodzowny.

Usługi informatyczne. Pracownicy łączności będą musieli obsługiwać całą infrastrukturę systemu przekazywania informacji, reperować kable, satelity, przekaźniki, komputery itp. Im bardziej rozbudowana struktura systemu informatycznego, tym więcej ludzi trzeba zatrudnić, aby zapewnić jego sprawne funkcjonowanie oraz rozwój. Ciągłe będzie wzrastał popyt na pracowników wykonujących czynności, których nie można zautomatyzować, robotników kładących kable, pracowników wymieniających zużyte części komputerów itd.

Służba zdrowia i biotechnologia. W miarę starzenia się populacji wzrastać będzie zapotrzebowanie na pracowników pielęgnujących starsze osoby z pokolenia wyżu demograficznego. Roboty, telemedycyna itp. mogą zredukować zapotrzebowanie na pewnego rodzaju prace, ale nie wyeliminują ich zupełnie. A rewolucja biotechnologiczna przyczyni się do powstania zupełnie nowych zawodów.

Inne zajęcia: przystosować się lub zginąć

Nawet te zajęcia, dla których Internet jest groźnym rywalem, mogą przetrwać i rozwijać się, jeśli w porę przeobrażą się w wyspecjalizowane, zindywidualizowane usługi, których nie sposób powierzyć maszynie. Dla przykładu:

– Biura turystyczne, nad którymi wisi gróźba utraty klientów, mogą wyspecjalizować się w luksusowych ofertach, obejmujących spełnianie wszelkich zachcianek bogatych klientów.

– Banki zwolnią zwykłych kasjerów, ale prawdopodobnie zaoferują dobre warunki pracy programistom oraz sprzedawcom i zajmą się sprzedażą wyspecjalizowanych usług, na przykład świadectw udziałowych, która to działalność może przynieść im wysokie prowizje.

– Wytrawni gracze giełdowi zaczną prawdopodobnie korzystać z usług Internetu, ale domy maklerskie mogą utrzymać się dzięki mniej doświadczonej klienteli, która będzie sobie wyżej ceniła wskazówki indywidualnych doradców.¹⁹³

– Pośrednicy handlu nieruchomościami stracą wielu klientów. Ludziom wygodniej będzie przeglądać setki ofert, nie ruszając się od klawiatury. Z usług pośredników będą nadal korzystać ci klienci, którzy interesują się nie tylko samą nieruchomością, ale i tym, czy, na przykład, w pobliżu jest jakaś dobra szkoła.

Kolejną dziedziną, w której zajdą głębokie zmiany, jest przemysł wydawniczy. Nie upadnie on jednak, jak można by przypuszczać, ale przejdzie do nowego, wyższego stadium rozwoju.

Charles Krauthammer, felietonista, przewiduje nieuchronny zanik papieru i przedstawia w ciemnych barwach przyszłość druku. "Spróbujcie sobie wyobrazić, co w 1896 roku czuli kowale, kiedy po raz pierwszy w życiu ujrzeli samochód - pisze Krauthammer. - Ja to wiem. Jestem felietonistą w roku 1996, a przez ostatnie pół roku wypróbowywałem możliwości Sieci. Przyszłość,

¹⁹² *Ibidem.*

¹⁹³ *Ibidem.*

moja w każdym razie, nie wygląda zachęcająco [...] druk nie ma przed sobą przyszłości".¹⁹⁴

"Gliniane tabliczki - kontynuuje z rezygnacją Krauthammer - otworzyły drogę papierosowi, papierosy - księgom, a iluminowane rękopisy - czcionce Gutenberga. W końcu każda rewolucja prowadziła do stworzenia czegoś lepszego".

Tym, którzy twierdzą, że komputery są nieporęczne i powolne, a ich język to żargon, Krauthammer odpowiada następującą analogią: "O wiele łatwiej było wskoczyć na konia, niż kręcić korbą, zwalniać ręczny hamulec, wrzucać bieg i powoli ruszać samochodem. Ale potem wymyślono stacyjkę".¹⁹⁵

Nie sposób przewidzieć, czy komputery zostaną kiedykolwiek wyposażone w "stacyjkę", dzięki której ich użytkowanie stanie się równie proste, jak odczytywanie tekstu zapisanego na papierze. Ludzie ciągle lubią zerknąć przed wyjściem do pracy na tytuły w gazecie, poczytać jakąś książkę na plaży, w domu czy w tramwaju. Papierowe nośniki informacji są tak wygodne, że nie wiadomo, czy ekran komputera kiedykolwiek im dorówna.

Pewne funkcje papieru jako nośnika informacji mogą jednak rzeczywiście zaniknąć. Już teraz niektóre gazety zmniejszają swoją objętość, gdyż część wiadomości zostaje przeniesiona na strony tekstowe telewizji. Jeżeli czasopisma przetrwają, to dzięki temu, że będą zawierały coraz to bardziej wyspecjalizowane informacje.

Czasopisma powinny oferować coś, czego nie może zapewnić Sieć, na przykład fachową analizę najświeższych wydarzeń. W Internecie mogą wypowiadać się wszelkiego rodzaju dziwacy i domorośli eksperci, a to tworzy ustawiczny szum informacyjny. Rola wydawców będzie więc polegać na proponowaniu czegoś, czego nie może dać Internet: rzetelności i mądrości. W oceanie bredni niezwykle ważną funkcję zaczną spełniać media prezentujące dobrze sprawdzone fakty i dogłębną analizę.

W 2020 roku będzie można prawdopodobnie zamawiać sobie swoją własną gazetę, w której znajdą się wiadomości uzyskane z wiarygodnych źródeł.

Zwycięzcy i przegrani

A co z analfabetami, niewykształconą siłą roboczą, która nie należy do żadnej z wymienionych kategorii? Za każdym razem, kiedy społeczeństwo dokonuje gwałtownego skoku na wyższy poziom produkcji, pojawiają się wygrani i przegrani. Przeto może się zdarzyć, że rewolucja komputerowa pogłębi bolesne podziały społeczne i stanie się przyczyną powstania "informacyjnych gett".

Z historii wiemy, że zmianom środowiska i technik produkcji towarzyszyły zmiany struktur społecznych. Kiedy po ostatnim zlodowaceniu, około 10 tysięcy lat temu pojawiło się rolnictwo, zaczął zanikać łowiecko-zbieracki tryb życia. Uprawa roli była nader uciążliwa, ale ceniono ją wyżej od koczowniczego życia w ciągłym zagrożeniu i pogoni za zdobyczą.

Nadejście rewolucji przemysłowej spowodowało masową migrację ludzi ze wsi do miejskich

¹⁹⁴ "Washington Post", 21 czerwca 1996, s. A23.

fabryk. W dzisiejszych Stanach Zjednoczonych tylko około 2% siły roboczej znajduje zatrudnienie w rolnictwie. W ciągu najwyższej dwu pokoleń, dzięki rozwojowi nowoczesnego przemysłu, masy niewykształconych biedaków osiągnęły status klasy średniej.

Obecnie w świecie dokonują się przynajmniej dwie rewolucje tego typu. W Azji, gdzie mieszka 2/3 ludzkości, motorem rewolucji przemysłowej o niespotykanym rozmachu jest światowy popyt na tanie produkty, których niska cena bierze się głównie z wykorzystania marnie opłacanej siły roboczej. Setki milionów chłopów zasilają szeregi klasy średniej. W krajach azjatyckich następuje przejście od społeczeństwa agrarnego do przemysłowego. Jego członkowie nie marzą o grach komputerowych i rzeczywistości wirtualnej, lecz potrzebne są im lodówki, telewizory, zmywarki do naczyń i inne wyroby konwencjonalnego przemysłu.

Na Zachodzie daje się zauważyć tendencja do rozbudowywania sektora usług kosztem kurczącego się sektora przemysłowego. W typowej gospodarce industrialnej udział sektora usług wynosi aż 70%. W USA, na przykład, udział przemysłu sięga ledwie 29,2%, w Wielkiej Brytanii - 30%, a we Francji -28,7%.¹⁹⁶

Niektórzy ekonomiści przepowiadają, że sektor przemysłowy w USA skurczy się ostatecznie tak jak sektor rolniczy, czyli że jego udział w gospodarce spadnie do około 2 procent. Dzięki komputeryzacji powstaną nowe gałęzie przemysłu i nowe zawody wymagające coraz wyższego poziomu wykształcenia. Nowe rodzaje zajęć będą więc zarezerwowane dla wysoko wykwalifikowanych specjalistów.

Michael Vlahos, jedna z ważniejszych postaci w Fundacji ds. Rozwoju i Wolności, konserwatywnej organizacji ściśle związanej z osobą Newta Gingricha, przewiduje, że do 2020 roku społeczeństwo amerykańskie ulegnie rozwarstwieniu na skutek zróżnicowanego dostępu do informacji. Powstanie tzw. bitowe miasto (*Byte City*),¹⁹⁷ w którym na szczycie hierarchii znajdą się lordowie umysłu (*brain lords*) - z technomiliarderami takimi jak Bill Gates, trochę poniżej - pracownicy wyższej użyteczności (*cyberyuppies*), a jeszcze niżej - służba pomocnicza (*cyber serfs*). Na samym dole hierarchii znajdą się ludzie odrzuceni (*lostpeople*), ci, którzy nie odnaleźli się w nowej rzeczywistości po rewolucji komputerowej. Frank Owen w *The Village Voice [Głos wsi]* roztacza tę ponurą wizję, wprowadzając pojęcie "Blade Runner Meets the Bell Curve" ("Łowca androidów w obliczu krzywej dzwonowej").^{198, 199}

Innymi słowy, nie jest wykluczone, że rewolucja komputerowa wzbogaci informatyczną elitę kosztem pozostałych warstw społeczeństwa. Jak to ujęła Barbara Ehrenreich: Gingrich głosi trzecią falę rozwoju, mimo iż sam reprezentuje interesy plutokratów drugiej fali".²⁰⁰

Uczeni proponują rozmaite rozwiązania, które pozwoliłyby zapobiec polaryzacji społeczeństwa.

¹⁹⁵ *Ibidem*.

¹⁹⁶ Hamish McRae: *The World in 2020*. Harvard Business School Press, Cambridge, Mass. 1994, s. 11.

¹⁹⁷ *The War After Byte City*, Progress and Freedom Foundation, adres w Internecie: <http://www.pff.org/pff/bigchange/wrbcity.html>. "Village Voice", 6 lutego 1996, s. 31.

¹⁹⁸ Frank Owen z "The Village Voice", *ibidem*.

¹⁹⁹ *Blade Runner*, film Ridleya Scotta, oparty na powieści Philippa K. Dicka *Łowca androidów*. Blade Runner jest policjantem polującym na androidy. Zdanie to ma oddać sens pojawienia się nierównomiernego, niegausowskiego rozkładu (przyp. tłum.).

Jednym z nich jest zakrojona na szeroką skalę akcja przekwalifikowania pracowników, przypominająca zainicjowaną po drugiej wojnie światowej akcję dokształcania, dzięki której wielu młodych żołnierzy znalazło dobrze płatne zajęcia. Zmiana kwalifikacji może istotnie okazać się skuteczną metodą, koszty takiego programu będą jednak dość wysokie, zwłaszcza jeśli obejmie on dużą grupę ludzi w starszym wieku, którym przyswajanie nowych wiadomości przychodzi z większym trudem. Bardziej radykalnym rozwiązaniem jest zmiana samej natury pracy. Podczas zapoczątkowanej 300 lat temu rewolucji przemysłowej idea pracy i płacy uległa znacznym przeobrażeniom. W czasach przedindustrialnych większość ludzi pracowała przez całe życie w tym samym warsztacie rzemieślniczym lub folwarku. Jednym ze sposobów rozwiązania problemu zatrudnienia może być rządowy program mający na celu rozszerzenie sieci usług, związanych na przykład z oczyszczaniem środowiska czy też z nowymi formami sztuki i rozrywki. Jeśli gospodarka stanie się tak wydajna, że produkcją żywności i dóbr przemysłowych będzie zajmować się jedynie niewielka część populacji, dlaczego pozostali członkowie społeczeństwa nie mieliby przyczyniać się swoją pracą do wzrostu ogólnego dobrobytu? Socjolog Jeremy Rifkin przewiduje, że może dojść do katastrofalnych zmian społecznych, jeśli świat pracy nie będzie miał udziału w dobrobycie wytwarzanym za pomocą komputerów. Nastąpi umocnienie się "trzeciego sektora", tzn. bezrobotnych obywateli zrzeszających się w niezależnych strukturach, nie wchodzących w skład sektora państwowego i prywatnego.²⁰¹

Większy bochen do podziału

Zmiany dokonujące się w ekonomii stały się w Stanach Zjednoczonych bodźcem do ożywionej dyskusji nad ustaleniem nowych metod podziału wspólnego dobra, przysłowiowego bochenka chleba. Jeśli jedni otrzymują większą kromkę, innym przypada w udziale mniejsza. W efekcie pogłębiają się podziały społeczne związane z przynależnością rasową lub klasową.

Wydaje mi się, że jedynym wyjściem z sytuacji jest powiększenie rozmiarów bochenka. W ostatnich wiekach główną przyczyną wzrostu zamożności był rozwój nauki i techniki. Na przykład w XIX wieku to właśnie dzięki rozwojowi nauki i techniki powstała sieć dróg żelaznych, maszyna parowa, telegraf, rozmaite nowe produkty chemiczne, tekstylne itp. Zmiany te spowodowały, iż Stany Zjednoczone znalazły się w czołówce krajów o najlepiej rozwiniętej gospodarce.

Dzisiejsze innowacje techniczne wymagają coraz większego wkładu myśli naukowej. Jeśli więc chcemy doprowadzić do wzrostu ogólnego dobrobytu, w XXI wieku będziemy musieli przeznaczyć znacznie większe środki na edukację i naukę.

Pojawiająca się wraz z rewolucją komputerową nieuchronna nierównowaga w podziale dóbr jest zatem objawem, a nie przyczyną problemu.

Źródła dobrobytu w XXI wieku

Dlaczego automatyzacja wywołuje takie zaniepokojenie w społeczeństwie, szczególnie wśród

²⁰⁰ *Ibidem.*

przedstawicielei klasy średniej? Obecne niesprawiedliwości w podziale dóbr nie zrodziły się wraz z nastaniem ery komputerowej. Ich korzenie sięgają znacznie głębiej. Zdaniem Lestera Thurowa, byłego dziekana Szkoły Biznesu im. Sloana w MIT, obecne zmiany w procesach wytwarzania dóbr można porównać do gwałtownych ruchów sejsmicznych.

Wraz z narodzinami kapitalizmu, jakieś 300 lat temu, wielką rolę zaczęły odgrywać państwa, które zakumulowały olbrzymie dobra i odpowiednio wykorzystwały bogactwa naturalne oraz kapitał. Opisał to już Adam Smith w dziele *Badania nad naturą i przyczynami bogactwa narodów*. Thurow twierdzi, że w XXI wieku motorem gospodarczego rozwoju będą "siła umysłu i wyobraźni, inwencja i zdolność tworzenia nowych technik. Niektóre kraje, takie jak Japonia czy Chiny, mają szansę stać się gospodarczymi gigantami. Co prawda nie posiadają one wiele bogactw naturalnych ani ziemi uprawnej, ale dysponują wyszkoloną, pracującą z determinacją, wydajną siłą roboczą i przywiązują wagę do rozwoju nauki i techniki. "Wiedza i umiejętności są dzisiaj same w sobie źródłem względnej przewagi" - pisze Thurow.

W przyszłym stuleciu ceny surowców będą nadal spadać. W związku z tym wiele państw szczerze obdarzonych przez naturę bogactwami naturalnymi może nieoczekiwanie zbiednieć, jeśli do świadomości ich władz nie dotrą przedstawione wyżej prawdy, mające podstawowe znaczenie.

Niestety, Stany Zjednoczone też mają kłopoty z dostosowaniem się do nowej rzeczywistości. David Halberstam w książce *The Next Century (Następne stulecie)* stara się udowodnić, że zimna wojna osłabiła nie tylko Związek Radziecki, ale też Stany Zjednoczone, których gospodarka straciła wówczas biliony dolarów.

W całym kraju ograniczane są nakłady na naukę. Liczba doktoratów jest dwukrotnie mniejsza niż 20 lat temu.²⁰² Symbolem krótkowzrocznej polityki doraźnych korzyści stało się zwalnianie z pracy znakomitych uczonych. (Środowisko naukowe Stanów Zjednoczonych zachowało względną prężność dzięki napływowi wykształconych obcokrajowców. W Dolinie Krzemowej procent doktoratów obronionych przez imigrantów jest nieproporcjonalnie wysoki. Jednakże planowane zmiany w polityce imigracyjnej mogą spowodować, że wyschnie i to źródło. W nauce amerykańskiej powstanie wielka luka).

Kolejnym problemem jest bardzo niski poziom nauczania przedmiotów ścisłych w szkołach amerykańskich. Podczas wszelkich testów o zasięgu międzynarodowym uczniowie ze stanów Zjednoczonych zajmują miejsca przy końcu tabeli.

I nie wygląda na to, żeby sytuacja miała się w najbliższym czasie poprawić.

"Powiedzmy to otwarcie - pisze Thurow - horyzonty czasowe, jakimi operuje prywatny kapitał, są tak ograniczone, że nie starcza czasu na solidne wykształcenie".²⁰³

Tak więc nakłady przeznaczone na naukę po prostu się marnują. Jedyne zmiany priorytetów w skali całego państwa może znowu ożywić siły, dzięki którym Stany Zjednoczone stały się

²⁰¹ Jeremy Rifkin: A Radically Different World, "Forbes ASAP", 2 grudnia 1996, s. 66. Wywiad z autorem, 12 maja 1997.

²⁰² Lester C. Thurow: *The Future of Capitalism*. William Morrow, Nowy Jork 1996, s. 286.

²⁰³ *Ibidem*, s. 284.

supermocarstwem w XX wieku. Należy więc nie tylko zwiększyć nakłady na naukę, ale również zarzucić politykę doraźnych korzyści.

“Technika i ideologia wstrząsają podstawami kapitalizmu w XXI wieku - kontynuuje Thurow. - Technika czyni z wiedzy i umiejętności źródło przewagi strategicznej. Wspierana przez media elektroniczne ideologia propaguje maksymalizację indywidualnej konsumpcji w tym samym czasie, kiedy sukces ekonomiczny staje się zależny od chęci i możliwości dokonania długofalowych inwestycji, mających przyspieszyć rozwój edukacji, umiejętności, wiedzy i infrastruktury. Jeśli drogi techniki i ideologii się rozejdą, musi nastąpić wielkie »tąpnięcie«, które, niczym trzęsienie ziemi, wstrząśnie podstawami całego systemu”.²⁰⁴

W XXI wieku prawdziwymi zwycięzcami okażą się te państwa, które dokonają strategicznych inwestycji w naukę i technikę. Po drugiej wojnie światowej Niemcy i Japonia zdołały się odrodzić między innymi dlatego, że w krajach tych najmądrzejsi i najzdolniejsi ludzie nie budowali bomb wodorowych, ale zajęli się konstruowaniem coraz lepszych samochodów i odbiorników tranzystorowych. W USA najwybitniejsi specjaliści są zatrudniani przez Pentagon. Znakomici uczeni pracują nad stworzeniem nowych rodzajów broni. Przeznaczenie nawet niewielkiej części wojskowego budżetu na czystą naukę mogłoby zaowocować niezwykłymi osiągnięciami technicznymi.

Również rynek pracy podzieli się w XXI wieku na zwycięzców i przegranych. Zwycięzcy będą postrzegać komputer nie jako wroga, ale jako użyteczne narzędzie, dzięki któremu nauka i technika znowu nabiorą sił. Powstaną nowe gałęzie przemysłu, zdolne wchłonąć rzesze tych, którzy w przeciwnym razie znaleźliby się poza nawiasem. Pokonanymi okażą się ci, którzy będą niszczyć maszyny, walczyć ze sobą o coraz mniejsze okruchy dóbr i myśleć jedynie o doraźnych korzyściach.

Niebezpieczeństwa robotyki: świadome roboty

Okolo 2050 roku mogą wyłonić się zupełnie nowe problemy. Na rynku powinien pojawić się nowy rodzaj maszyn: roboty dysponujące pewną ograniczoną świadomością. Może to być początek piątej fazy w ewolucji maszyn liczących.

Co będzie, jeśli się okaże, że dążenia ludzi i maszyn są odmienne? Czy roboty mogą zrobić nam krzywdę, choćby tylko przypadkowo? Czy mogą przejąć władzę na Ziemi?

W tym miejscu dochodzi do zderzenia nauki z literaturą fantastycznonaukową. Przedmiotem naszych rozważań stają się maszyny dysponujące wolną wolą, wyposażone w potężne, być może potężniejsze od naszych, możliwości umysłowe i fizyczne. Nie jest wykluczone, że pod ludzkimi rozkazami maszyny te będą się doskonaliły, że będzie można dzięki nim dokonywać rzeczy, o których nie śniło się wynalazcom. Otworzyłyby to zupełnie nowe perspektywy przed nauką i techniką. Istnieje jednak niebezpieczeństwo, że roboty zbuntują się i staną się groźne dla człowieka. To poważna kwestia. Badacze sztucznej inteligencji poświęcają wiele uwagi temu

²⁰⁴ *Ibidem*, s. 326.

zagadnieniu.

Daniel Crevier, ekspert w dziedzinie sztucznej inteligencji, pisze: "Kiedy maszyny osiągną poziom inteligencji wyższy od naszego, nie będzie można odseparować ich od społeczeństwa. Na przestrzeni dziejów wielokrotnie się zdarzało, że uczeń przerastał swojego mistrza i zaczynał rządzić państwem. Ewolucja życia na Ziemi nie jest niczym innym jak trwającą od czterech miliardów lat opowieścią o przerastaniu rodziców przez potomstwo. Nieubłagany rozwój sztucznej inteligencji zmusza nas do postawienia pytania: czy stworzymy następny inteligentny gatunek?".²⁰⁵ Ten sam problem poruszył w swojej wypowiedzi Arthur C. Clarke: "Czujemy strach, bo sytuacja ta jest dla nas wyzwaniem i zagrożeniem, bo zagrożona jest nasza dominacja w tej jedynej dziedzinie, w której uważamy się za górujących nad wszystkimi innymi mieszkańcami planety".

"Inteligentne maszyny - pisze Hans Moravec - nawet jeśli będą nam życzliwe, zagrożą ludzkiej egzystencji, ponieważ staną się współmieszkańcami naszej niszy ekologicznej. W tym współzawodnictwie maszyny dorównujące inteligencją człowiekowi będą miały zdecydowaną przewagę".²⁰⁶

W XXI wieku, kiedy roboty będą stawały się coraz inteligentniejsze i coraz bardziej podobne do człowieka, niebezpieczeństwo zagrażające nam z ich strony przyjmie realniejszą postać.

Naukowcy mogą stopniowo powierzać robotom kontrolę nad pewnymi przedsięwzięciami o zasięgu globalnym. Będą one mogły kontrolować rozdział energii i swobodny przepływ surowców i produktów w obrocie gospodarczym, a także dbać o stan środowiska naturalnego i gospodarki.

Rozważmy prosty przykład. Przypuśćmy, że giełda przy Wall Street byłaby kierowana przez programy maklerów giełdowych. Ponieważ ludzie nie orientują się natychmiast w niewielkich acz gwałtownych zmianach procentowali i kursów wymiany walut, firmy powierzałyby komputerom pieczę nad miliardami dolarów. Jako że komputery te byłyby zaprogramowane do wzajemnego współzawodnictwa, najmniejsza zmiana stóp procentowych mogłaby wywołać elektroniczną panikę na giełdzie, podobną do krachu z 1987 roku. Problem nie polega tu na tym, że komputer jest niedoskonały, ale na tym, że jest za dobry.

Obecnie zapobieganie tego rodzaju sytuacjom nie byłoby jeszcze zbyt trudne, na przykład Komisja Giełdy i Papierów Wartościowych mogłaby wprowadzić niewielkie zmiany reguł gry na giełdzie. Nie ulega wątpliwości, że w przyszłości pewne formy sztucznej inteligencji będą uczestniczyć w analizie rynku, w handlu i grze na giełdzie.

Niewykluczone, że do połowy przyszłego wieku komputery staną się tak sprawne, że będą mogły zarządzać dużymi miastami, a nawet państwami. Można im będzie powierzyć stałą kontrolę nad energetyką, bankowością i handlem, transportem publicznym, zaopatrzeniem w wodę i usuwaniem nieczystości. Maszyny, pozostające pod opieką jedynie garstki inżynierów, będą dysponowały olbrzymią wiedzą o sprawnym funkcjonowaniu miasta. Każdy defekt w obwodach sterujących systemem maszyn będzie groził upadkiem lub paraliżem całej cywilizacji. Im więcej

²⁰⁵ Daniel Crevier: *AI*. Basic Books, Nowy Jork 1993, s. 341. Wywiad.

²⁰⁶ Hans Moravec: *Mind Children*. Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1988, s. 100. Wywiad.

informacji ulega scentralizowaniu, tym łatwiej jest uszkodzić system.

Roboty-zabójcy

Jedną z przyczyn, dla których roboty mogą stać się w przyszłości niebezpieczne, jest to, że pierwotnie zostały one zaprojektowane do celów militarnych, a mówiąc dokładniej - do zabijania ludzi. Najhojniejszym sponsorem badań nad sztuczną inteligencją jest Komisja ds. Ochrony Zaawansowanych Projektów! Badawczych, agenda Pentagonu, która wspaniałomyślnie finansowała między innymi projekt Shakey, mając oczywiście na uwadze jego ewentualne zastosowanie militarne.

Badacze sztucznej inteligencji twierdzą, że najbardziej niebezpieczne jest powierzenie kontroli nad arsenałami jądrowymi systemom komputerowym obdarzonym zdolnością samodzielnego podejmowania decyzji. O takiej właśnie sytuacji opowiada nakręcony według powieści D. F. Jonesa film *Colossus: The Forbin Project (Projekt Forbina)*, w którym Stany Zjednoczone przekazują kontrolę nad bronią jądrową mózgowi elektronicznemu o nazwie Kolos (ochrzczonego tak na cześć pierwszej maszyny Turinga).

Niektórzy uczeni sądzą, że komputery same w sobie nie stanowią śmiertelnego zagrożenia, ponieważ są tylko maszynami wykonującymi nasze rozkazy. Problem tkwi jednak w tym, że obliczenia związane z prowadzeniem wojny jądrowej dokonywane są tak szybko, iż wyposażony w sztuczną inteligencję komputer może niepostrzeżenie przejąć pełną kontrolę nad arsenałem jądrowym. Sytuacja taka została przedstawiona w filmie *Gry wojenne*, w którym komputer mający rozegrać grę *Wojna termojądrowa* przestaje odróżniać grę od prawdziwej wojny i zaczyna przygotowywać pierwsze uderzenie na Rosję.

Joseph Weizenbaum z MIT twierdzi, że komputery już dziś zaczynają wymykać się spod naszej kontroli. Weizenbaum Przypomina, że podczas wojny w Zatoce Perskiej "jeden z amerykańskich krążowników zestrzelił lecący w jego kierunku irański samolot. Jak się okazało, był to cywilny Airbus z 230 osobami na pokładzie. Oczywiście, gdyby kapitan statku wiedział, że jest to tylko zwykły cywilny samolot, nigdy nie pozwoliłby go zaatakować".²⁰⁷

Jednym ze sposobów rozwiązania tego problemu mogłaby być zmiana źródeł finansowania badań nad sztuczną inteligencją. Ponieważ badania te są zazwyczaj bardzo kosztowne, większość naukowców stosuje się do życzeń swoich sponsorów.

Kiedy badania nad sztuczną inteligencją zaczną być finansowane z innych źródeł, problem stopniowo zaniknie. Celem stanie się zaspokajanie potrzeb klientów, a nie pozbawianie ich życia. Należałoby więc ograniczyć wpływ Pentagonu na tę dziedzinę badań naukowych.

Pojawia się jednak następne pytanie: czy roboty mogą zabijać, nawet jeśli nie zostały do tego zaprogramowane?

²⁰⁷ Crevier: *AI*, s. 316.

Szalone roboty

W filmie *2001: Odyseja kosmiczna* inteligentny komputer pokładowy pojazdu kosmicznego, HAL 9000, usiłuje wymordować załogę statku. W filmie *2010*, będącym kontynuacją *Odysei* wyjaśnia się, dlaczego HAL został seryjnym mordercą. Otóż problemy zaczęły się wtedy, kiedy komputer otrzymał sprzeczne instrukcje. Aby wypełnić swoją misję, HAL musiał okłamywać załogę, a ponieważ nie umiał tego robić, popadł w nierozwiązywalny konflikt z samym sobą. Wreszcie znalazł zupełnie logiczne rozwiązanie: aby nie okłamywać ludzi, zaczął ich zabijać.

Z naukowego punktu widzenia decyzja HAL-a wydaje się całkowicie zrozumiała. Litera "H" w imieniu HAL pochodzi od słowa "heurystyczny", a w systemach eksperckich działających na podstawach heurystycznych występuje "efekt blatu stołu". Dopóki system działa w granicach swojej "strefy komfortu" (tzn. swoich kompetencji), dopóty funkcjonuje znakomicie. Ale jeśli zmusimy go do opuszczenia strefy komfortu (każąc mu na przykład kłamać), następuje katastrofa - system rozpada się na drobne kawałki niczym szklany przedmiot strącony z blatu stołu.

Zetknąwszy się z problemem wykraczającym poza zakres ich działania, systemy eksperckie zaczynają szukać rozwiązania na oślep, nawet wówczas, kiedy żadnego rozwiązania nie ma. Maszyna nie zdaje sobie sprawy z tego, że wyszła poza zakres swoich kompetencji. Co gorsza, "spadając ze stołu", maszyna może dostać się w pętlę sprzężeń zwrotnych. System zaczyna wówczas zachowywać się tak, jakby oszalał. Wydarzenia przedstawione w *Odysei kosmicznej* mają więc swoje naukowe uzasadnienie w postaci teorii sprzężenia zwrotnego. Nazywane jest to czasami "zagadnieniem stabilności".

Nawet w tych komputerach, które zdają się działać bez zarzutu, mogą nawarstwiać się niewielkie odstępstwa typowe dla wszelkich procesów ze sprzężeniem zwrotnym. "Rezultaty takich pozornie bezbłędnych operacji mogą się spiętrzać, prowadząc do irracjonalnych i niemożliwych do opanowania zachowań: do szaleństwa" - zanotował Daniel Crevier.²⁰⁸

Człowiek dysponuje wieloma mechanizmami sprzężeń zwrotnych, pozwalającymi mu unikać niebezpieczeństw i przystosowywać się do otoczenia. Po to mamy pięć zmysłów oraz mózg, który analizuje przesyłane przez nie sygnały. A mimo to pętle sprzężeń zwrotnych czasami zawodzą także u ludzi. Kiedy ktoś z nas załamuje się, oznacza to, że jakaś pętla sprzężenia zwrotnego wymknęła się prawdopodobnie spod kontroli.

Podobnie jest z systemami sztucznej inteligencji. Zawsze istnieje niebezpieczeństwo, że systemy, którym powierzono kontrolę nad bronią jądrową, pieniędzmi, źródłami zasilania dla całych miast itp. mogą popaść w jakąś pętlę sprzężenia zwrotnego o tragicznych dla ludzkości skutkach. "Przekazując jakieś uprawnienia i obowiązki przyszłym inteligentnym maszynom - pisze Crevier - będziemy musieli pamiętać o tym, że mogą one zwariować lub oszaleć".

Ponieważ jednak nie istnieje żaden prosty sposób zapobiegania szaleństwu układów ze sprzężeniem zwrotnym, uczeni muszą opracowywać skomplikowane metody umożliwiające wyłączenie systemu, zanim on zwariuje.

Czy trzy prawa robotyki zapobiegą zagładzie ludzkości?

Autorzy książek fantastycznonaukowych, na przykład Isaac Asimov, doradzają, by w pamięci każdej maszyny zakodować trzy podstawowe prawa, które zapobiegłyby mordowaniu ludzi przez zbuntowane roboty. Prawa te brzmią następująco:

1. Żaden robot nie może zrobić krzywdy istocie ludzkiej lub, poprzez zaniechanie działania, dopuścić do tego, by człowiekowi stała się krzywda.
2. Każdy robot musi słuchać rozkazów człowieka z wyjątkiem tych poleceń, które pozostają w sprzeczności z pierwszym prawem.
3. Każdy robot musi starać się sprawnie funkcjonować, dopóki jego działania nie naruszają pierwszego lub drugiego prawa.

Trzy prawa pomijają jednak pewien bardzo istotny aspekt zagadnienia, a mianowicie to, że roboty, starannie wypełniając wszelkie rozkazy, mogą zagrozić ludzkości nieumyślnie.

Rozważmy prawa rządzące biurokracją, które wcale nie są tak różne od zasad wpisanych w mózg robota. Często się zdarza, że nadmierny rozrost biurokracji prowadzi do upadku gospodarki. Niektórzy ekonomiści twierdzą, że nagły rozpad Związku Radzieckiego był częściowo skutkiem wyścigu zbrojeń. Przywódcy Związku Radzieckiego powierzyli biurokracji odpowiedzialne zadanie: dogonić Zachód w zbrojeniach. Obarczona tą misją radziecka biurokracja zaczęła działać z pełnym poświęceniem, choć wyścig zbrojeń osłabiał gospodarkę. Aż w końcu system się załamał.

W pewnym sensie biurokracja radziecka padła ofiarą amerykańskiej strategii "wpędzenia Rosjan w kłopoty" - Pentagon przeznaczał na zbrojenia olbrzymie sumy, zmuszając słabą gospodarkę rosyjską do wytwarzania równie kosztownych rodzajów broni. Radziecka biurokracja wypełniła powierzoną jej misję, ale system okazał się zbyt słaby, by udźwignąć ciężar tego sukcesu.

Niewykluczone, że systemy sztucznej inteligencji kontrolujące globalną gospodarkę również się rozrosną, podobnie jak biurokracja, do ogromnych rozmiarów. Trzy prawa robotyki staną się bezużyteczne, jeśli roboty zaczną sądzić, że znakomicie spełniają swoją najważniejszą misję. I nie chodzi tu o to, że maszyny nie poradzą sobie z pojedynczymi zadaniami, ale o to, że całe ich działanie będzie już od samego początku skazane na porażkę. Żadne z trzech praw nie mówi o tym, że zagrożeniem dla ludzkości mogą stać się posłuszne, spolegliwe roboty.

W tym przypadku winne są jednak nie komputery, lecz ludzie, którzy chcieliby mieć natychmiast elektroniczne cudeńka *on-line*, choć nie są one jeszcze odpowiednio zabezpieczone. Sztuczna inteligencja będzie musiała podlegać coraz ściślejszej kontroli, aby nie pojawiły się niepożądane konsekwencje. Projektując urządzenia wykorzystujące sztuczną inteligencję, należy uwzględnić pętle sprzężenia zwrotnego. Układy te powinny mieć odpowiednie wyłączniki i mechanizmy kontrolne, które nie dopuszczają do tego, by maszyny stały się niebezpieczne. Być może powinna nawet powstać nowa gałąź sztucznej inteligencji zajmująca się problemem utrzymywania układów AI pod kontrolą.

Roboty należy więc wyposażyć w urządzenia zabezpieczające, które nie pozwoliłyby im przejąć

²⁰⁸ Crevier: *AI*, s. 318. Wywiad.

władzy na Ziemi. Trzy prawa robotyki nie zapobiegną wszystkim niebezpieczeństwom. Powinien też istnieć system sprawujący kontrolę nad najbardziej posłusznymi robotami.

Dziś jeszcze nie wiemy, czy komputery staną się naszymi pomocnikami czy panami, ale jedno jest pewne: nasza przyszłość związana jest nierozdzielnie z ich rozwojem. Zacytujmy na koniec wypowiedź Arthura C. Clarke'a, pod którą podpisać by się mogło wielu badaczy sztucznej inteligencji: "Może się zdarzyć, że staniemy się maskotkami dla komputerów, że będziemy traktowani jak pokojowe pieski, ale mam nadzieję, iż jeśli zajdzie potrzeba, zawsze będziemy mogli wyciągnąć wtyczkę z gniazdka".

CZĘŚĆ III

REWOLUCJA BIOMOLEKULARNA

ROZDZIAŁ 7

OSOBISTE SEKWENCJE NUKLEOTYDÓW

Dawniej myśleliśmy, że nasza przyszłość zapisana jest w gwiazdach.

Dziś wiemy, że zapisana jest w naszych genach.

JAMES WATSON

Narodowe Instytuty Zdrowia, jeden z najważniejszych w świecie ośrodków medycznych, to centrum nowatorskich poszukiwań, badań o rewolucyjnym znaczeniu, których wyniki radykalnie zmieniają życie ludzkie w XXI wieku. Nowoczesne laboratoria mieszczą się w budynkach rozrzuconych na zadrzewionych, zielonych przedmieściach Bethesda w stanie Maryland, nieopodal Waszyngtonu. Ośrodek ten, zajmujący w 1887 roku skromny pokój pod szyldem Laboratorium Higieny i mający niewielki budżet 300 dolarów rocznie, rozrósł się do rozmiarów potężnej instytucji, której 70 gmachów rozmieszczonych jest na obszarze 120 hektarów, a roczny budżet sięga 11 miliardów dolarów.

Być może najważniejszym i najbardziej kontrowersyjnym przedsięwzięciem firmowanym przez Narodowe Instytuty Zdrowia jest projekt poznania genomu człowieka (oficjalna nazwa ośrodka badawczego brzmi: Narodowe Centrum Badań nad Genomem Człowieka) - jeden z najambitniejszych projektów w historii medycyny. Jest to prawdziwy program przełomu, który ma na celu zlokalizowanie wszystkich genów człowieka przed rokiem 2005, przy wydatkach sięgających 3 miliardów dolarów. Całemu przedsięwzięciu przewodzi obecnie Francis Collins. Na jego barkach spoczywa znaczna część odpowiedzialności za naukowe, medyczne i etyczne strony rozwiązania zagadki życia.²⁰⁹

Wysoki, mający niemal 190 cm wzrostu, szczupły, dobrze ubrany, z sumiastym wąsem, przywodzi na myśl dystyngowane wcielenie Petera Sellersa. W przeciwieństwie do Sellersa, Collins jeździ jednak do pracy na motocyklu Honda Nighthawk 750, ubrany w kurtkę z czarnej skóry. Równie daleko mu do nieobecnego duchem, zatopionego w swoich rozmyślaniach uczonego, jak do gburowatego, bezdusznego urzędnika. (Kiedyś powiesił sobie na ścianie cytaty z Winstona Churchilla: "Sukces to nic innego, jak przechodzenie od porażki do porażki z

²⁰⁹ Francis Collins, wywiad z autorem, 7 maja 1996.

niesłabnącym entuzjazmem").²¹⁰

(Collins zyskał międzynarodowe uznanie dzięki zlokalizowaniu jednego z najbardziej poszukiwanych genów w ludzkim genomie - genu odpowiedzialnego za mukowiscydozę należąca do najczęstszych chorób genetycznych wśród Amerykanów rasy białej. (Jest tak powszechna, że w USA niemal w każdej klasie jedno z dzieci jest nosicielem tej śmiertelnej, przerażającej choroby). Dla Collinsa objęcie posady dyrektora projektu poznania genomu człowieka oznaczało wprawdzie oderwanie od ukochanego laboratorium, ale dawało za to szansę na własne miejsce w historii nauki.

“Jest tylko jeden projekt poznania genomu człowieka. Coś takiego zdarza się tylko raz w historii ludzkości. I właśnie teraz ta chwila nadchodzi. Nie chciałbym powtarzać banałów, ale moim zdaniem jest to naprawdę program o największym znaczeniu naukowym, jaki ludzkość kiedykolwiek stworzyła. To zapuszczenie się z badaniami w głąb nas samych [...]. Czuję, że całe moje życie było przygotowaniem do tego zajęcia” - stwierdził Collins.²¹¹ Nadzwyczajna moc tkwiąca w naszych genach decyduje o najróżniejszych sprawach - od koloru włosów i kształtu nosa po reakcje chemiczne zachodzące w naszych komórkach. Wiele osób sądzi, że geny decydują o wszystkim, jest to jednak zbyt uproszczenie.

“To nawet zabawne obserwować, jak ludzie rozprawiają z mniejszą lub większą powagą i przekonaniem o genach na to czy tamto - mówi Collins. - Niektórzy mówią: »Och, mam po prostu taki gen, który sprawia, że lubię sportowe wozy«. »Time« umieścił kiedyś na okładce tytuł: "Niewierność tkwi w naszych genach«. Bez przesady! Zsekwencjonowanie DNA człowieka nigdy nie doprowadzi do zrozumienia naszych zachowań, a przynajmniej ich zasadniczej części, chociaż, istotnie, mogą one mieć w pewnej mierze podłoże genetyczne".²¹²

“Nigdy nie pojmiemy ważnych spraw, takich jak miłość, jedynie na podstawie znajomości sekwencji DNA u *Homo sapiens* - podkreśla Collins. - Powinniśmy mieć rozsądny stosunek do tego przedsięwzięcia i nie oczekiwać, że wyniknie z niego zbyt wiele. Gdybyśmy tak sądzili, mogłoby się to okazać niebezpieczne. Jeśli ludzkość zacznie postrzegać człowieka jako maszynę zaprogramowaną przez DNA, to utracimy coś niezwykle istotnego".²¹³

Mapowanie genomu człowieka

Zadaniem Collinsa i jego współpracowników jest stworzenie do 2005 roku mapy 100 tysięcy genów człowieka ukrytych na 23 parach chromosomów, jakie znajdują się w komórkach naszego ciała.²¹⁴

“To, czym obecnie dysponujemy, przypomina system dróg w 1850 roku - mówi Collins. - W zasadzie można było przedostać się z miejsca na miejsce, ale ile się człowiek namęczył. A czasem

²¹⁰ *Ibidem*.

²¹¹ Jeff Lyon, Peter Gorer: *Altered Fates*. W. W. Norton, Nowy Jork 1995, s. 359.

²¹² Wywiad z Francisem Collinsem.

²¹³ *Ibidem*.

²¹⁴ Dokładna liczba genów w genomie ludzkim nie jest znana. Niektórzy genetycy sądzą, że może być ona znacznie mniejsza niż 100 tysięcy, być może tylko około 60 tysięcy.

trzeba było wręcz wysiadać z powozu i drałować na piechotę".

Erie Lander, dyrektor Instytutu Whiteheada w MIT, dorzuca: "To, co zamierzamy otrzymać, będzie stopniem szczegółowości przypominającą informację o drogach, jaką można uzyskać w Amerykańskim Związku Automobilowym".²¹⁵

Realizacja projektu poznania genomu człowieka wyprzedza terminarz i okazuje się tańsza niż planowano. Jest wynikiem ogromnego postępu zrodzonego na styku rewolucji komputerowej, biomolekularnej i kwantowej. W przedsięwzięcie to zaangażowano wiele największych osiągnięć nauki XX wieku.

W ciągu ostatniej dekady, wraz z wprowadzeniem komputerów, zrobotyzowanych laboratoriów i sieci neuropodobnych, możliwości wyłapywania genów zwiększyły się kilka tysięcy razy. Osiągnięcie to jest jednym z najlepszych przykładów znakomitych wyników, jakie daje połączenie tych trzech rewolucji. Ich współdziałanie wyznaczy tempo rozwoju nauki w XXI wieku.

Sekwencjonowanie DNA jest tak zaawansowane, że możemy już dość precyzyjnie oszacować liczbę genów aktywnych w każdym z głównych narządów ciała. W mózgu ludzkim działa prawdopodobnie 3195 genów, w sercu 1195, a w oku -547.²¹⁶

Tempo sekwencjonowania DNA zapiera dech w piersiach. Jeszcze parę lat temu uczeni potrafili zlokalizować jedynie garstkę ludzkich genów. W połowie 1994 roku lista ta wydłużyła się do 4700, czyli około 5% całej puli genów.²¹⁷ Pod koniec 1996 roku mapa genów człowieka obejmowała już 16 354 pozycje, czyli blisko 16% całości.²¹⁸ Uwzględniając te imponujące osiągnięcia, Collins sądzi, że "do roku 2002 lub 2003 powinno zostać zsekwencjonowanych 99% genów, mimo że otrzymujemy tylko 70% wstępnie zaplanowanego budżetu".²¹⁹

Znaczenie projektu poznania genomu człowieka może okazać się większe niż skutki skonstruowania przez Mendelejewa w XIX wieku układu okresowego pierwiastków, który wniósł w końcu porządek do chaosu, panującego wówczas w naukach o materii, i dał początek nowoczesnej chemii. Analiza układu okresowego umożliwiała przewidywanie istnienia nowych pierwiastków, a nawet określanie ich własności. Współczesna cywilizacja, tak uzależniona od metali, stopów, roztworów, tworzyw sztucznych i inżynierii materiałowej, nie mogłaby istnieć bez układu okresowego. Podobnie biologia i medycyna XXI wieku zapewne okażą się nie do pomyślenia bez mapy genów, uzyskanej dzięki realizacji projektu poznania genomu człowieka.

Liczby genów czynnych w poszczególnych narządach ciała zostały już w przybliżeniu określone. Do 2005 roku powinniśmy poznać dokładną strukturę molekularną każdego spośród 100 tysięcy genów człowieka. (Dzięki uprzejmości Roberta O'Keefe'a).

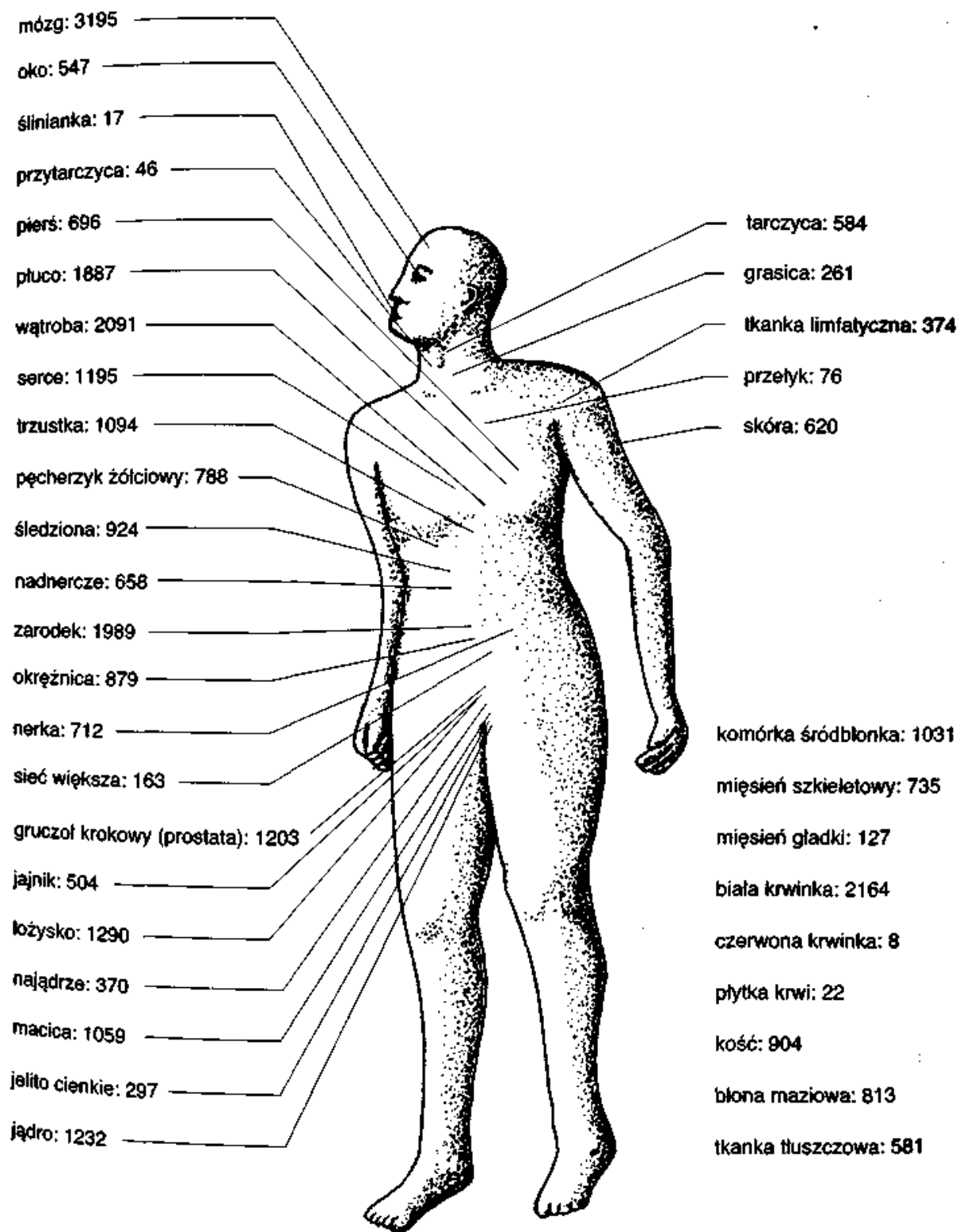
²¹⁵ Lyon, Gerner: *Altered Fates*, s. 535.

²¹⁶ "New York Times", 28 września 1995, s. A24.

²¹⁷ Sir John Kendrew: *The Encyclopedia of Molecular Biology*. Blackwell Science, Cambridge 1994, s. 489.

²¹⁸ "New York Times", 25 października 1996, s. A18. "Science", październik 1996.

²¹⁹ "New York Times", 28 września 1995, s. A24.



Prognoza na przyszłość

Podkreślałem już, że prawo Moore'a pozwala nam dość rozsądnie przewidywać rozwój techniki komputerowej w XXI wieku. Dzięki szybkiej komputeryzacji i automatyzacji badań nad DNA odpowiednik prawa Moore'a stosuje się również w biologii: liczba poznanych sekwencji DNA podwaja się mniej więcej co dwa lata.²²⁰ Podobnie jak w technice komputerowej, ta praktyczna,

²²⁰ Walter Gilbert, wywiad z autorem, 30 grudnia 1996.

dotychczas znakomicie sprawdzająca się reguła pozwala zajrzeć w przyszłość i oszacować, kiedy dojdzie do kolejnych wielkich osiągnięć medycyny.

Collins i jego kolega po fachu, Walter Gilbert z Uniwersytetu Harvarda, laureat Nagrody Nobla, przewidują, że dzięki rozwojowi wiedzy o klonowaniu genów scenariusz wydarzeń do roku 2020 będzie wyglądał następująco:

– Do roku 2000, prorokuje Gilbert, uczeni rozszyfrują podstawy genetyczne 20-50 dziedzicznych chorób, trapiących ludzkość od zarania jej istnienia, włączając w to mukowiscydozę, dystrofię mięśniową, anemię sierpowatą, chorobę Taya-Sachsa, hemofilię i płasawicę Huntingtona.²²¹

– Nie później niż w 2005 roku w ramach projektu poznania genomu człowieka zostaną odczytane wszystkie ze 100 tysięcy genów składających się na ludzki genom. Otworzy to skarbiec z tajemnicami zamkniętymi w naszych genach od milionów lat. Po raz pierwszy uczeni wejrzą w kompletny zapis genetyczny człowieka.

– Do 2010 roku liczba rozpoznanych profili genetycznych chorób dziedzicznych wzrośnie prawdopodobnie do 2 tysięcy, a może nawet i do 5 tysięcy, odsłaniając przed nami niemal całkowicie podstawy genetyczne tych odwiecznych schorzeń.²²² “Jest całkiem prawdopodobne, że do roku 2010 - mówi Collins - każdy będzie mógł w dniu swoich osiemnastych urodzin otrzymać rodzaj komputerowego wydruku, określającego indywidualne ryzyko zapadnięcia na którąś z chorób genetycznych odziedziczonych po przodkach”.²²³

– Około roku 2020 lub 2030 proces ten osiągnie punkt kulminacyjny w postaci zapisu osobistej sekwencji DNA. Gilbert twierdzi, że “będzie można pójść do sklepu i dostać na dysku CD swój indywidualny zapis DNA, by przeanalizować go potem w domu na komputerze”.²²⁴

Następne stulecie nas zadziwi - przewiduje Gilbert. Można będzie wówczas wyciągnąć z kieszeni CD i powiedzieć: “Oto ludzka istota, oto ja sam!”.²²⁵

Taki CD będzie ukoronowaniem badań kosztujących miliardy dolarów, efektem wysiłku setek pracujących z pełnym poświęceniem uczonych układających hasła “encyklopedii życia”, w której znajdzie się w zasadzie wszystko, czego potrzeba, żeby zbudować człowieka. Zakończenie tego dzieła powinno zaowocować powstaniem “instrukcji obsługi” istoty ludzkiej.

Intensywny wysiłek zmierzający do opracowania osobistych sekwencji nukleotydów odbija się szerokim echem w laboratoriach całego świata, rodząc nadzieję na zmianę oblicza medycyny. Do 2020 roku mapa 100 tysięcy genów człowieka powinna zrewolucjonizować nasze metody leczenia i umożliwić opracowanie nowych rodzajów terapii chorób nękających ludzkość od wieków, a uznawanych dotąd za nieuleczalne. Pojawią się nowe metody leczenia, takie jak terapia genowa czy “inteligentne cząsteczki”. Zdaniem sporej liczby badaczy, do tego czasu nauczymy się również

²²¹ Lyon, Gomer: *Altered Fates*, s. 532. Wywiad.

²²² W zasadzie nie wiadomo, ile jest chorób genetycznych, prawdopodobnie znacznie więcej, gdyż niemal każda mutacja genu może być przyczyną jakiegoś schorzenia o podłożu genetycznym. Pięć tysięcy jest wartością przybliżoną i odpowiada liczbie dostrzeżonych oraz opisanych powikłań genetycznych. Wywiad.

²²³ Dokąd zmierza medycyna, “Świat Nauki”, listopad 1995, s. 105.

²²⁴ Lyon, Gomer: *Altered Fates*, s. 532. Wywiad.

²²⁵ Daniel Kevles, Leroy Hood (red.): *The Code of Codes*. Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1992, s. 96.

zwalczać wiele rodzajów nowotworów.

Z dużą dozą wiarygodności możemy także przewidzieć, jak będzie wyglądać świat epoki postgenomowej, w latach 2020-2050. Sama znajomość adresów i numerów telefonów nic nie mówi o strukturze amerykańskiego społeczeństwa. Z informacji takiej nie wynika, jak ludzie zarabiają na życie, jak działają przedsiębiorstwa, urzędy, szkoły, czy też jak funkcjonują instytucje związane ze sztuką i nauką. Podobnie znajomość genomu człowieka nie gwarantuje od razu wiedzy o tym, jak geny funkcjonują i jak ze sobą współdziałają.

Dlatego właśnie intensywny postęp, jaki miałby się dokonać od teraz do 2020 roku, może okazać się złudny. Uczeni przewidują, że w latach 2020-2050 postęp będzie znacznie wolniejszy, ponieważ trudno będzie skomputeryzować określanie funkcji oraz wzajemnych relacji pomiędzy genami. Zapewne upłyną dziesięciolecia, zanim ostatecznie zrozumiemy zagmatwaną sieć powiązań między genami, zwłaszcza w przypadku chorób poligenicznych, w których rozwoju uczestniczy więcej niż jeden gen (takich jak choroba Alzheimera, nadciśnienie, choroba wieńcowa, choroby umysłowe i autoimmunologiczne), a także to, w jaki sposób czynniki środowiskowe wywołują choroby. Na liście schorzeń poligenicznych może pojawić się również starzenie się. Nie jest wykluczone, że geny starości, które, jak podejrzewają niektórzy uczeni, kontrolują procesy starzenia, staną się kluczem do wydłużenia naszego życia. W ten sposób starzenie się mogłoby w końcu stać się procesem odwracalnym.

A po roku 2050 będziemy zapewne umieli manipulować samym życiem.

Medycyna molekularna

"Mapa genów i poznanie sekwencji DNA człowieka odmienia medycynę" - z głębokim przekonaniem prorokuje Gilbert.²²⁶ Z tej rewolucji narodzi się nowa medycyna, zwana czasami medycyną teoretyczną lub medycyną molekularną, w której choroba będzie zwalczana na poziomie cząsteczkowym. Symulacje komputerowe oraz rzeczywistość wirtualna pozwolą na precyzyjne atakowanie słabych genetycznie punktów w molekularnej zbroi wirusów i bakterii.

Nie oznacza to wcale, że medycynę można zredukować do zbioru cząsteczek chemicznych. Byłby to typowy błąd redukcjonizmu. Rewolucja molekularna pozwoli nam jednak zrozumieć skomplikowane oddziaływania pomiędzy genami, białkami, komórkami oraz środowiskiem, a nawet stanami psychicznymi.

Dzisiejsze badanie lekarskie pacjenta w dużej mierze przypomina wizytę w warsztacie samochodowym, w którym niekompetentny mechanik zgaduje, co zepsuło się w samochodzie jedynie na podstawie odgłosów pracy silnika. Jeśli silnik chodzi bez zarzutu, fachowiec stwierdza, że samochód jest w doskonałym stanie. W rzeczywistości stan pojazdu może być katastrofalny. Niewykluczone, że podczas wyjeżdżania ze stacji zepsują się hamulce lub odpadnie kierownica.

Podobnie badanie lekarskie opiera się głównie na kilku podstawowych testach, takich jak analiza krwi czy pomiar ciśnienia. Co rzeczywiście dzieje się w organizmie, zwłaszcza na poziomie

²²⁶ Walter Gilbert, wywiad w: Kevles, Hood (red.): *The Code of Codes*, s. 94.

genetycznym i molekularnym, pozostaje wielką niewiadomą. Nawet tuż po dogłębniejszym badaniu za pomocą elektrokardiografu, jeszcze na progu gabinetu lekarskiego, można doznać rozległego zawału serca. Jak na ironię, dostępne obecnie najlepsze metody diagnostyczne nie pozwalają przewidzieć dokładnie nawet tego, czy za chwilę pacjent nie skona tuż na wprost lekarza. Co więcej, w przypadku raka bywa tak, że kiedy lekarz zauważa guz, jest zbyt późno na leczenie, bo w organizmie mnożą się i rozprzestrzeniają już setki milionów komórek nowotworowych.

A teraz, dla kontrastu, wyobraźmy sobie rutynowe badanie w gabinecie lekarskim 2020 roku, kiedy możliwe już będzie określenie osobistych sekwencji DNA. Na początku lekarz pobierze próbkę krwi, następnie prześle ją do laboratorium genetycznego. Mniej więcej po miesiącu dostaniemy kompletną sekwencję naszego DNA. Wówczas lekarz wprowadzi te dane do komputera i stwierdzi, czy nosimy geny któreś z 5 tysięcy poznanych chorób dziedzicznych. Jednocześnie będzie mógł oszacować prawdopodobieństwo wystąpienia schorzeń pokrewnych. Będzie również w stanie zalecić odpowiednie środki profilaktyczne, zanim wystąpią jakiegokolwiek objawy. Osobista sekwencja DNA stanie się zatem podstawą do analizy stanu naszego zdrowia. Terapia genowa umożliwi wyleczenie niektórych dawniej nieuleczalnych schorzeń.

»Wchodzimy w nową erę, w której chorobę będzie można przewidzieć, zanim wystąpią jej pierwsze objawy - mówi William Haseltine (Nauki o Genomie Człowieka). - W zasadzie medycyna zmieni się z dyscypliny skoncentrowanej na leczeniu w dyscyplinę, której podstawą jest profilaktyka".²²⁷

Dobrze to czy źle, rewolucja biomolekularna obiecuje zdumiewające bogactwo nowych rozwiązań, od środków biologicznie zmodyfikowanych, których mnóstwo z pewnością pojawi się na rynku, do możliwości kontrolowania samego życia.

Inna sprawa, czy jesteśmy wystarczająco dojrzały, żeby poradzić sobie z tak potężnymi metodami oraz ich konsekwencjami, które trudno dzisiaj przewidzieć. Niektórzy będą błogosławić tę rewolucję za niekwestionowane dobrodziejstwa, jakie przyniesie cierpiącym; ocali ona i wydłuży życie milionom ludzi. Inni, ze względów społecznych czy religijnych, zapewne będą jej przeciwni. Ale nawet najbardziej zagorzali przeciwnicy muszą przyznać, że jej skutki dotkną w końcu każdego z nas.

Czym jest życie?

Aby lepiej zrozumieć fascynujące odkrycia naukowe leżące u podstaw badań, które jeszcze przed 2020 rokiem mają umożliwić określenie osobistych sekwencji nukleotydów, warto przyjrzeć się zadziwiającym zwrotom kariery naukowej Francisca Collinsa. Na tym przykładzie można głębiej wejść w początki biologii molekularnej.

Podczas studiów Collins odczuwał głęboką niechęć do niezbędnego w biologii wkuwania suchych faktów, pociągała go natomiast ścisłość mechaniki kwantowej i chemii fizycznej.²²⁸ W chemii kwantowej odnajdywał elegancję i precyzję matematyki reprezentowane przez falowe

²²⁷ "Time", wydanie specjalne, jesień 1996, s. 25.

równanie Schrödingera. Pozwalało ono obliczyć ruch elektronu krążącego wokół jądra, zrozumieć, jak atomy łączą się ze sobą i jak cząsteczki wchodzą w reakcje chemiczne, które ożywiają nasze ciała. Chemia kwantowa - wspomina z rozrzewnieniem Collins - "wydawała się niezwykle satysfakcjonująca intelektualnie. Matematyczna ścisłość, rodzaj wyszukanej elegancji w opisie świata za pomocą równań różniczkowych drugiego rzędu - to mi się podobało. Pociągała mnie możliwość wyrażania prawdy w ten sposób".²²⁹

Nie zdawał sobie jeszcze sprawy z zachodzącego wówczas masowego odpływu fizyków i chemików kwantowych w stronę biologii. Zapoczątkowała go w 1944 roku książka *Czym jest życie?* autorstwa jednego z twórców teorii kwantowej, Erwina Schrödingera. Biolog Stephen Jay Gould nazwał ją "jedną z najważniejszych książek w biologii XX wieku".²³⁰

Schrödingera, podobnie jak Collinsa, odpychał ówczesny stan biologii. W czasach, gdy wielu biologów pozostawało ciągle pod wpływem witalizmu (poglądu mówiącego, że organizmy ożywiają tajemniczą i mistyczną "siłą życia"), Schrödinger był głęboko przekonany, że procesy życiowe mogą stać się zrozumiałe dzięki mechanice kwantowej atomów oraz że samo życie podlega kontroli "kodu genetycznego" (termin ukojony przez Schrödingera), zapisanego w konfiguracjach cząsteczek chemicznych. Uważał on, że cząsteczki nie są jedynie cegiełkami służącymi do wzniesienia budowli naszego ciała, pełnią jeszcze drugą funkcję: przechowują kod życia.

Pytania postawione w niewielkiej książeczce *Czym jest życie?* zainspirowały nową generację fizyków do poszukiwań sposobów zastosowania mechaniki kwantowej do rozwiązania zagadki życia. Wśród nich znaleźli się między innymi George Gamow, Pascual Jordan oraz laureaci Nagrody Nobla: Francis Crick, Linus Pauling, Walter Gilbert i Max Delbrück.

Książka *Czym jest życie?* odmieniła również losy młodego, śmiałego studenta, Jamesa Watsona. Jak wspomina sam Watson: "Od momentu kiedy przeczytałem *Czym jest życie?* Schrödingera, byłem zdecydowany poświęcić się rozwiązaniu tajemnicy genu".²³¹ Na Uniwersytecie w Cambridge Watson zaprzyjaźnił się z fizykiem Francisem Crickiem, na którym książka Schrödingera również zrobiła wielkie wrażenie.²³² Ich wspólna praca pozwoliła w końcu zidentyfikować cząsteczkę DNA jako nośnik informacji genetycznej.

Od mechaniki kwantowej do DNA

Realizację historycznej pracy Watsona i Cricka umożliwiły narzędzia zapożyczone od mechaniki kwantowej - krystalografia rentgenowska: metoda polegająca na prześwietlaniu próbek substancji krystalicznych wiązką promieniowania rentgenowego. Aby zrozumieć jej zasadę, przypomnijmy sobie zwisające z sufitu w klubach i dyskotekach kule połyskujące klerkami. Takie świecidełka

²²⁸ Wywiad z Francisem Collinssem.

²²⁹ *Ibidem*.

²³⁰ Michael P. Murphy, Lukę A. J. O'Neill: *What Is Life? The Next Fifty Years*. Cambridge University Press, Cambridge 1995, s. 25.

²³¹ Walter Moore: *Schrödinger: Life and Thought*. Cambridge University Press, Cambridge 1989, s. 403.

²³² Watson wspomina: "Zasadniczym czynnikiem, który skłonił go (Cricka) do porzucenia fizyki i zajęcia się biologią, było przeczytanie w 1946 r. książki *What is Life? (Czym jest życie?)* napisanej przez sławnego fizyka teoretyka Erwina Schrödingera". (James D. Watson: *Podwójna helisa. Historia odkrycia struktury DNA*. Prószyński i S-ka, Warszawa 1995,

można zrobić z naklejonych na piłkę setek malutkich lusterek. Kiedy na kręcącą się u sufitu kulę pada światło reflektora, cała sala napelnia się rojem tańczących odbłyśków. W zasadzie, jeśli w danej chwili znalibyśmy położenia wszystkich plamek świetlnych, moglibyśmy dokładnie określić, gdzie na kuli przyklejone jest każde z lusterek.

Zastąpmy teraz lusterka atomami, a światło reflektora silną wiązką promieniowania rentgenowskiego. Odbijający się od atomów promień X tworzy tysiące małych, rozproszonych fal, które interferują ze sobą i rozchodzą się w przestrzeni. (Taka rozprzestrzeniająca się wiązka promieniowania rentgenowskiego układa się we wzór ciemnych i jasnych plamek, który może zostać utrwalony na kliszy fotograficznej. W tym wzorze pozornie przypadkowo rozrzuconych kropek zawarta jest cała informacja potrzebna do określenia położenia wszystkich atomów w kryształach. Na podstawie tego obrazu prawa mechaniki kwantowej pozwalają dokładnie wyznaczyć atomową strukturę kryształu).

Rosalind Franklin posłużyła się tą metodą do otrzymania obrazów rentgenograficznych próbek DNA. Wykorzystując jej pomiary, Watson i Crick udowodnili, że to właśnie w cząsteczce DNA zapisane są informacje za pomocą owego Schrödingera kodu genetycznego.²³³

Wykazali oni, że cząsteczka DNA zbudowana jest z dwóch ściśle przylegających do siebie nici splecionych na kształt podwójnej helisy, tworząc słynną dwuniciową cząsteczkę życia. Jak cenne perły w naszyjniku, tak nasze geny rozmieszczone są wzdłuż nici DNA, tworzących 23 pary chromosomów zamkniętych w jądrze komórkowym. W chromosomach tych zawarte jest tyle informacji, że gdyby rozwinąć cały DNA z jednej tylko mikroskopijnej komórki, otrzymalibyśmy sznur o łącznej długości niemal dwu metrów!

Wzdłuż tej prawie dwumetrowej nici DNA ułożonych jest 100 tysięcy naszych genów. To w ich układzie zapisane są różnice między wirusem, rybą, owadem, myszą i człowiekiem. Sama cząsteczka DNA składa się z kolei z mniejszych jeszcze jednostek, zwanych nukleotydami; oznacza się je literami A, T,

C i G.²³⁴ W DNA występują cztery różne nukleotydy.²³⁵ Jak stopnie kręconych schodów, tak komplementarne zasady podwójnej helisy łączą się w pary. Właśnie w sekwencji nukleotydów A T, C i G rozmieszczonych wzdłuż cząsteczki DNA zapisana jest cała informacja genetyczna organizmu.

Pojedynczy gen może się składać nawet z wielu tysięcy nukleotydów. Każdy gen wypełnia swe magiczne zadanie, służąc jako matryca do budowy odpowiedniej cząsteczki RNA, która z kolei zawiera informację potrzebną do wyprodukowania pojedynczej cząsteczki białka. (Ściślej rzecz biorąc, 3 nukleotydy, czyli kodon, kodują pojedynczy aminokwas, podstawową cegielkę budowy cząsteczek białkowych. Ponieważ w cząsteczce DNA istnieją 4 rodzaje nukleotydów, mogłaby ona kodować $4 \times 4 \times 4 = 64$ rodzaje aminokwasów. Jako że jest to liczba większa niż liczba różnych

s. 19).

²³³ Watson: *Podwójna helisa*.

²³⁴ Litery te odpowiadają poszczególnym zasadom: A = adenina, C = cytozyna, T = tymina, G = guanina.

²³⁵ Nukleotyd składa się z zasady azotowej, reszty cukrowej oraz grupy fosforanowej (Przyp. dum.).

aminokwasów występujących w organizmach żywych, ten sam aminokwas może być kodowany przez więcej niż jeden kodon). Z kolei z białek zbudowane są nasze organizmy. Tu tkwi sedno sprawy: każdy gen bierze udział w produkcji jednego białka, które pełni w naszym organizmie specyficzną funkcję, na przykład umożliwia przebieg pewnych reakcji chemicznych, czyli działa jak enzym, lub jest wykorzystywane jako budulec komórek naszego ciała.

Już jako doktorant w Yale Collins zdał sobie sprawę, że rozwikłanie zagadki cząsteczki DNA miało znaczenie przełomowe. Biologia, co ku swemu zaskoczeniu stwierdził, nie polegała już na tępych wkuwaniu na pamięć części składowych kwiatu. Nauka ta przechodziła dogłębną transformację, podobną do legendarnych narodzin mechaniki kwantowej w 1925 roku. "Kiedy dotarło to do mojej świadomości, pomyślałem »0, Boże, tu właśnie zaczyna się prawdziwy złoty wiek«. Bałem się, że skończę, wykładając termodynamikę grupce szczerze nienawidzących tego przedmiotu studentów. A tymczasem to, co działo się w biologii, przypominało sytuację mechaniki kwantowej w latach dwudziestych [...]. Porwała mnie ta rewolucja".²³⁶

Wtedy właśnie Collins zdecydował się na najbardziej ryzykowny zwrot w swej karierze - zmianę dziedziny zainteresowań. Podobnie jak wielu fizyków kwantowych przed nim, wstrzymał oddech i, niby pływak, dał nura w nieznane wody. A potem nigdy już nie oglądał się za siebie.

Odczytanie kodu życia

Tak jak lokomotywą ogromnego postępu w technice komputerowej przez następne dwadzieścia pięć lat będzie fotolitografia, wykorzystująca światło o coraz mniejszych długościach fal, tak siłą napędową możliwości sekwencjonowania DNA jest automatyzacja metod wprowadzonych przez Fredericka Sangera, Waltera Gilberta i Allena Maxama.

Aby zrozumieć, na czym polega rozszyfrowywanie sekwencji DNA i jak łatwo odpowiednie czynności poddają się obróbce komputerowej, wyobraźmy sobie, że mamy mapę, na której droga do ukrytego skarbu zakodowana jest w nieprawdopodobnym gąszczu tajemniczych symboli. Aby odczytać mapę, trzeba zrobić trzy rzeczy.

Po pierwsze, za pomocą nożyczek musimy wyciąć istotne kawałki tajemnego przekazu. Następnie należy je powiększyć pod lupą. Na koniec - odczytać przez szkło powiększające zakodowane w poszczególnych segmentach litery.

Każdy z tych kroków ma swój odpowiednik w odczytywaniu informacji zapisanej w DNA. Wycinanie kawałków mapy, na przykład, odpowiada użyciu pewnych białek, zwanych enzymami restrykcyjnymi, które rozcinają nić DNA w specyficznych miejscach. (Na szczęście enzymy restrykcyjne wytwarzane są w sposób naturalny przez niektóre bakterie w celu zwalczania wirusów, atakują bowiem je, tnąc wirusowy DNA na strzępy). Dotychczas poznano około 400 enzymów restrykcyjnych, a każdy z nich może przeciąć nić DNA w określonym miejscu.

Następnym krokiem jest zwielokrotnienie tych mikroskopijnych fragmentów. Procedurą odpowiadającą oglądaniu pod lupą klucza do mapy jest uzyskanie milionów ich kopii. Otrzymuje

²³⁶ Wywiad z Francisem Collinsem. "Time", 17 stycznia 1994, s. 55.

się je dzięki wykorzystaniu bakterii (na przykład *E. coli*), w których drobne fragmenty DNA powielają się w wielkich ilościach.

W końcu, jako odpowiednik odczytywania tajemniczego przekazu, stosowana jest metoda, zwana elektroforezą na żelu, która pozwala rozdzielić fragmenty różnej długości otrzymane z porozcinanego na segmenty DNA.²³⁷

Aby zrozumieć zasadę rozdziału, wyobraźmy sobie ścigające się dzieci. Zazwyczaj dzieci o większej wadze ciała są powolniejsze, a lżejsze - szybsze. Zatem po kilkudziesięciu metrach biegu grupa zacznie się rozdzielać. Na metę pierwsze przybiegną lżejsze dzieci, zostawiając zdyszane grubaski z tyłu.

Podobnie dzieje się z fragmentami DNA. Łańcuchy cięższe (czyli dłuższe) wolniej poruszają się w lepkim żelu niż lżejsze (czyli krótkie). Śledząc, jak po przyłożeniu pola elektrycznego segmenty niemrawo przesuwają się w żelu, możemy odróżnić frakcje ciężkie od lekkich. Gdy pierwsze "dotrą do mety", próbka występuje już w postaci szeregu prążków, z których każdy odpowiada pewnemu fragmentowi genu, segmentowi o określonej masie cząsteczkowej oraz długości. Z odległości pomiędzy prążkami - przyjmując, że czoło rozdziału tworzą cząsteczki najlżejsze, a najcięższe wchodzi w skład ostatniego prążka - możemy uzyskać informacje o względnej masie odpowiadających im fragmentów DNA. (Na przykład, kiedy zastosujemy enzym, który przecina nić DNA tam, gdzie pojawia się G, wtedy odległości między prążkami będą zawierać informację o tym, jak gęsto rozmieszczone są guaniny wzdłuż łańcucha cząsteczki DNA. Jeśli powtórzymy tę procedurę, wykorzystując inne enzymy, będziemy mogli zlokalizować miejsca występowania A, T i C. Stosując tę technikę w różnych kombinacjach, określimy pełną sekwencję A, T, C i G badanego łańcucha).

Wcześniej biolodzy mogli tylko zgadywać, jakie bogactwa ukryte są w genach. Dzięki tym pionierskim badaniom mogli wreszcie odczytać odwieczny kod życia, po raz pierwszy w jego liczącej trzy miliardy lat historii.

Metody wyznaczania sekwencji DNA dają się w istocie tak łatwo zautomatyzować, że jeszcze przed 2020 rokiem spodziewane jest odczytanie informacji genetycznej tysięcy *żywych* form. Dzięki temu nie tylko poznamy zależności genetyczne pomiędzy wieloma gatunkami zamieszkującymi Ziemię, ale także dowiemy się, kiedy nastąpiło ich rozdzielenie.²³⁸ Szczegóły ewolucji życia na Ziemi, niegdyś kwestia niekończących się spekulacji, zostaną zredukowane do matematyki.

Jednym z czynników przyspieszających ów proces są malejące koszty odczytywania informacji genetycznej. Na konferencji, która odbyła się w 1986 roku w Cold Spring Harbor, Gilbert zaszokował audytorium, szacując, że koszt zsekwencjonowania jednego nukleotydu w łańcuchu

²³⁷ Nowoczesnym sposobem powielania nici DNA jest technika PCR (*polymerase chain reaction*, łańcuchowa reakcja polimerazy). Ogrzewając próbkę DNA, możemy doprowadzić do rozdzielenia się obu nici helisy. Następnie, po dodaniu polimerazy, ochładzamy próbkę i każda nić ulega powieleniu. Zaczęliśmy z jedną helisą DNA, a oto już mamy dwie. Wielokrotnie ogrzewając i ochładzając próbkę, powodujemy wzrost liczby cząsteczek DNA w tempie wykładniczym. W ten sposób nie jest trudno powielić początkową ilość DNA miliony czy miliardy razy.

²³⁸ Zakładamy, że mutacje w DNA nie zdarzają się zbyt często. W przypadku wirusów szybkość mutacji jest jednak tak

DNA wyniesie dolara, czyli na cały projekt poznania genomu człowieka nie potrzeba więcej niż 3 miliardy dolarów.

“Słuchacze byli oszołomieni przepowiednią Gilberta - wspomina Robert Cook-Deegan z Narodowej Akademii Nauk. - Opinia Gilberta o kosztach wywołała wrzawę”.²³⁹ Choć w roku 1986 liczby podawane przez Gilberta mogły wydawać się zdumiewająco niskie, dzisiaj jego wyliczenia brzmią osobliwie, jeśli nie zachowawczo. Już w roku 1990 koszt zsekwencjonowania jednego nukleotydu spadł do 10 dolarów. W 1997 roku szacowany był na 50 centów, a i ta suma zmniejszała się z dnia na dzień.²⁴⁰ Wielu uczonych spodziewa się, że do 2020 roku koszt zsekwencjonowania jednego nukleotydu w łańcuchu DNA będzie wynosić ułamek centa, dzięki czemu wyznaczanie osobistych sekwencji DNA stanie się z ekonomicznego punktu widzenia zupełnie możliwe.

Mikroby, myszy i ludzie

Nie powinno nas dziwić, że nawet wstępne informacje o genach pozwalają nam lepiej rozumieć funkcjonowanie naszego organizmu, początki naszego gatunku, a także miejsce, jakie zajmujemy w królestwie zwierząt.

Poniżej, dla przykładu, podana jest tabelka, w której przytoczono liczby nukleotydów kodujących informację genetyczną różnych form życia na Ziemi.²⁴¹

Organizm	Liczba nukleotydów (w milionach)
Wirusy <i>E. coli</i>	0,01 5
Drożdże	12
Nicienie	100
Muszka owocowa (<i>Drosophila</i>)	180 700
Pomidor	
Mysz Człowiek	3000 3000

Mniej więcej w tej kolejności uczeni odczytują sekwencję nukleotydów tworzących geny danych organizmów.

Wirusy były pierwszymi kandydatami do określenia kompletnej sekwencji nukleotydów, gdyż składają się jedynie z krótkich łańcuchów DNA lub RNA pokrytych otoczką białkową. W roku 1977 Frederick Sanger i jego współpracownicy podali pełną sekwencję DNA wirusa phi-X174. Został on wybrany do badań ze względu na stosunkowo prostą budowę: phi-X174 ma zaledwie dziewięć genów na jedynym chromosomie utworzonym z 5375 nukleotydów.²⁴² Innymi słowy, zapisanie sekwencji jego genomu symbolami A, T, C i G zapełniłoby gęstym drukiem tylko jedną stronę tej

wielka, że odtworzenie drzewa genealogicznego tych organizmów może okazać się niemożliwe.

²³⁹ Robert Cook-Deegan: *The Gene Wars*. W. W. Norton, Nowy Jork 1994, s. 111.

²⁴⁰ Wywiad z Francisem Collinssem.

²⁴¹ Christopher Wills: *Exons, Introns, and Talking Genes*. Basic Books, Nowy Jork 1991, s. 273; Kevles, Hood (red.): *The Code of Codes*, s. 137.

²⁴² Od tego czasu odczytano genom wielu wirusów. We wczesnych latach 80. poznano wszystkie 48 514 par zasad składających się na genom wirusa lambda (atakującego *E. coli*). Zasady te kodują 50 białek.

książki.²⁴³ Natomiast genom ludzki zająłby 500 tysięcy stron.

Łowcom genów poddają się już najwięksi ze znanych w historii zabójców, na przykład wirus ospy. Wiadomo obecnie, że jego DNA zawiera 186 000 nukleotydów, wirus polio ma ich 7700, wścieklizny 13 000, odry 18 000, wirus grypy typu A również 18 000, a wywołujący zwykły katar - 7500.²⁴⁴ Jeden z najdłuższych łańcuchów DNA wśród wirusów ma ludzki cytomegalo-wirus, który wywołuje objawy podobne do grypowych, zawierający aż 230 000 nukleotydów.²⁴⁵

Rośnie także tempo poznawania genomów innych form życia. Kolejnym kamieniem milowym było odtworzenie pod koniec 1995 roku pierwszej mapy genów całej komórki. Wybrana do badań bakteria *Hemophilus influenzae* zawiera 1743 geny ułożone na pojedynczym, kołowym chromosomie zbudowanym z 1 830 137 nukleotydów.²⁴⁶

Ale nawet i ten herkulesowy wysiłek wydaje się niczym wobec rozszyfrowania na początku roku 1996 zapisu genetycznego drożdży.²⁴⁷ DNA drożdży zawiera 12 057 000 nukleotydów, w których zakodowanych jest 6000 genów leżących na 16 chromosomach. Drożdże mają dla nas szczególne znaczenie, ponieważ dzielą one sporą część puli genowej z człowiekiem.

W 1997 roku naukowcy z Uniwersytetu Wisconsin w Madison donieśli o odczytaniu pełnego genomu bakterii *E. coli*, w którym 4 638 858 nukleotydów tworzy 4300 genów.²⁴⁸ Piętnaście procent ludzkich genów zawiera sekwencje występujące w genomie *E. coli*.

Obecnie sekwencjonowane są równocześnie genomy rozmaitych organizmów. Należy się spodziewać, że w ciągu następnych paru lat uczeni będą donosić o odczytaniu informacji genetycznej coraz to bardziej złożonych organizmów, poczynając od nicieni, poprzez muszkę owocową, mysz, aż do genomu człowieka (w tej mniej więcej kolejności). Zwieńczeniem tego długiego procesu będzie możliwość ustalania osobistych sekwencji DNA.

Drzewo genealogiczne człowieka

Sekwencjonowanie ludzkiego DNA zaowocowało już wieloma niespodziankami.²⁴⁹ Jednym z zadziwiających odkryć było wykazanie, jak blisko genetycznie jesteśmy związani z innymi zwierzętami. Życie na Ziemi wywodzi się prawdopodobnie od pojedynczej cząsteczki DNA lub RNA, więc stopień podobieństwa genetycznego pomiędzy dwoma organizmami pozwala nam obliczyć, jak blisko są one spokrewnione w sensie ewolucyjnym. Im więcej genów jest wspólnych, tym bliżej siebie na drzewie ewolucyjnym znajdują się te organizmy.

Ustalenie drzewa genealogicznego DNA ma także niezwykle doniosłe implikacje dla medycyny.

²⁴³ Wills: *Exons, Introns, and Talking Genes*, s. 42; Kevles, Hood (red.): *The Code of Codes*, s. 65.

²⁴⁴ Enzo Russo, David Cove: *Genetic Engineering*. W. H. Freeman, Nowy Jork 1995, s. 54.

²⁴⁵ Thomas Lee: *The Human Genome Project*. Plenum Press, Nowy Jork 1991, s. 170; Wills: *Exons, Introns, and Talking Genes*, s. 317.

²⁴⁶ "New York Times", 1 sierpnia 1995, s. C1. Ci sami badacze donieśli o zsekwencjonowaniu DNA drugiej komórki bakteryjnej: *Mycoplasmage-nitalium*, zawierającego 580 067 par zasad. Techniki sekwencjonowania tak się rozwinęły, że genom tej drugiej bakterii odczytano w przeciągu 3 miesięcy.

²⁴⁷ "Progress from the National Center for Human Genome Research", NIH, Bethesda, Md., 24 kwietnia 1996.

²⁴⁸ "Science News", 8 lutego 1997, s. 84.

²⁴⁹ Jednym z niespodziewanych wyników było odkrycie, że 95 do 98% informacji zawartej w ludzkim DNA jest informacją bezwartościową, w oczywisty sposób bezużyteczną. Jednakże pozostałe 2-5% genomu jest rzeczywiście istotne. To te geny kodują ważne dla życia cząsteczki białek, które są lokomotywami naszego organizmu, wytwarzając enzymy, tkanki

Często można u zwierząt znaleźć geny spełniające funkcje podobne do wypełnianych przez geny ludzkie. Nazywane są one genami homologicznymi. (Geny homologiczne są genami spokrewnionymi, występującymi u zupełnie różnych gatunków, ale wywodzącymi się od wspólnego przodka, a także pełniącymi często, choć nie zawsze, podobną funkcję. Skrzydła i ręce są narządami homologicznymi). Odnajdywanie w królestwie zwierząt homo-logów genów ludzkich (często mniej złożonych) oszczędza naukowcom tysięcy godzin wnikliwych badań nad genomem człowieka.

Około miliarda lat temu, na przykład, istniał wspólny przodek człowieka i drożdży. Znajduje to swoje odbicie w fakcie, że 1/3 genów drożdży występuje również w genomie człowieka.²⁵⁰ Także 40% genów dżdżownicy odnajdujemy w genomie ludzkim. Z myszą dzielimy zaś 75% naszej puli genowej.

Biologia molekularna wskazuje, że nasz protoplasta (tzw. hominid) oddzielił się od rodziny małp około 5 milionów lat temu. Okazuje się, że z najbliższym krewniakiem genetycznym, szympansem, mamy wspólne 98,4% genów.²⁵¹

Dysponując informacją o tym, jak bliskie są genomy dwóch osób, możemy określić stopień ich pokrewieństwa. Na przykład bliźnięta jednojajowe mają tę samą informację genetyczną i ich "odległość genetyczna" jest zerowa. (W rzeczywistości nawet identyczne bliźniaki mają w swoich DNA kilkadziesiąt różnic ze względu na mutacje). Porównując rodziców i dzieci lub rodzeństwo, odnajdujemy różnice w niemal 0,05% nukleotydów budujących wszystkie geny. (Oznacza to, że najbliżsi krewniacy różnią się mniej więcej 1,5 milionem nukleotydów w swoich chromosomach). A jeśli porównujemy genomy dwu losowo wybranych osób, to średnio różnice ich genomów są dwukrotnie większe w stosunku do różnic między genomami najbliższych krewnych i osiągają pułap 0,1%.²⁵² W tabelce poniżej przedstawiono genetyczne podobieństwo człowieka z wybranymi organizmami.

Organizm	% wspólnych genów z człowiekiem
<i>E. coli</i>	15
Drożdże	30
Nicienie	40
Mysz	75
Krowa	90
Szympan	98,4
Inny człowiek	99,9
Rodzeństwo	99,95

Obliczając odległość genetyczną pomiędzy różnymi przedstawicielami rodzaju ludzkiego, możemy zrekonstruować zarys ewolucyjnego drzewa rodowego człowieka. Z badań tych wynika, na przykład, że nasze geny zmieniają się w tempie 2-4% na milion lat. Na tej podstawie uczeni

i składniki komórek pozwalające na funkcjonowanie naszego ciała.

²⁵⁰ "Progress from the National Center for Human Genome Research", 24 kwietnia 1996.

²⁵¹ Steve Jones, Robert Martin, David Pilbeam, Sarah Bunney (red.): *The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution*, Cambridge University Press, Cambridge (Anglia) 1992, s. 310.

²⁵² *Autor ma na myśli poziom mutacji w tych samych genach, gdy każdy rodzic ma 50% wspólnych genów z dzieckiem*

przypuszczają, że współczesny człowiek oddzielił się od wspólnego z innymi hominidami przodka 140-290 tysięcy lat temu.²⁵³

Stosując tę technikę, możemy obecnie odtworzyć pełne drzewo genealogiczne rodu ludzkiego, ze wszystkimi zagubionymi w prehistorycznych czasach szczegółami włącznie. Analiza kilku tylko białek i genów już teraz dała wstępne rozwiązanie zagadki powstania ras i ludów na całym świecie. Do 2020 roku, kiedy możliwe już będzie tworzenie baz osobistych sekwencji DNA, znajdziemy wszystkie odgałęzienia na naszym drzewie rodowym, włącznie z odnogami, o których zapomniano. Przed dziesiątkami tysięcy lat.

Ta mapa pozwoli nie tylko uzupełnić luki istniejące w lingwistycznych i archeologicznych teoriach początków człowieka. Na jej podstawie będzie można również określić, kiedy brakujące gałęzie naszego drzewa rodowego oddzieliły się od pnia, tysiące lat przed pierwszymi przekazami pisanymi.

Testy DNA

Chociaż zlokalizowanie wszystkich genów w ludzkim DNA zajmie jeszcze wiele lat, niektóre wstępne wyniki tych badań już teraz nabierają rozgłosu. Wykorzystując techniki sekwencjonowania DNA będzie można, na przykład, zidentyfikować kilka "znaczników" w ludzkim genomie, charakterystycznych dla każdego człowieka. Takie testowanie może okazać się niezastąpione w kryminalistyce (podobnie jak porównywanie odcisków palców było niezbędnym elementem badań kryminalistycznych w ostatnim stuleciu).

W XXI wieku testy DNA znajdują wiele zastosowań w takich dziedzinach jak:

Procesy o ustalenie ojcostwa i łączenie rodzin imigrantów. Każdego roku w Stanach Zjednoczonych wszczyna się 285 tysięcy procesów o ustalenie ojcostwa. Z tego 60 tysięcy spraw jest spornych i wymaga przeprowadzenia testów. W przyszłości na podstawie badań DNA definitywnie rozstrzygane będą nie tylko podejrzenia o ojcostwo.²⁵⁴ Możliwe będzie również dokładne ustalenie stosunku pokrewieństwa pomiędzy dwiema dowolnymi osobami.

Wyjaśnianie zagadek historycznych oraz ujawnianie oszustw. W roku 1997 na podstawie testu DNA oczyszczono doktora Sama Shepparda z zarzutu zamordowania żony w roku 1954 (na kanwie jego historii nakręcono film oraz serial telewizyjny *Ścigany*), a także zidentyfikowano prawdopodobnego zabójcę.²⁵⁵

Analiza DNA osób dawno zmarłych. Obecnie analizowane są próbki DNA "człowieka z lodu",

(przyp. red.).

²⁵³ Ponieważ mitochondrialny DNA dziedziczony jest tylko po matce, na przestrzeni wielu pokoleń ulega on nader powolnym mutacjom. Dlatego może zostać użyty jako "zegar genetyczny" odmierzający szybkość, z jaką pojawiają się mutacje w genomie człowieka. *The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution*, s. 396.

²⁵⁴ Thomas F. Lee: *Gene Future*. Plenum Press, Nowy Jork 1993, s. 67.

²⁵⁵ "New York Times", 5 lutego 1996, s. A12; "Washington Post", 5 stycznia 1997, s. A1 ("Discover", styczeń 1994, s. 90). Przeprowadzone w 1993 roku badania próbek DNA pobranych z odkopanych w Rosji kości ludzkich wykazały, że, istotnie, znalezione zostały szczątki cara Mikołaja II i jego rodziny, zabitych przez bolszewików podczas rewolucji październikowej. DNA carskiej rodziny porównywany był z DNA księcia Filipa, małżonka brytyjskiej królowej, Elżbiety I (babka księcia Filipa była siostrą Aleksandry, żony cara). Przeprowadzone przez dwie grupy badaczy, jedną w Niemczech, a drugą w Anglii, badanie DNA wykazało również, że podająca się za Anastazję, córkę cara, Anna Anderson Manahan, która pojawiła się po rewolucji 1917 roku, była oszustką ("Research in the News", NIH Web Page,

zamrożonego w lodowcu przed tysiącami lat, oraz materiał genetyczny mumii egipskich. Badania te dostarczają nowych informacji o historii chorób oraz życiu przed wiekami.

Analiza DNA organizmów zachowanych w bursztynie.

Wiek próbek DNA owadów zachowanych w kawałkach bursztynu szacuje się na okresy jeszcze wcześniejsze niż epoka dinozaurów, które wyginęły 65 milionów lat temu. George Poinar z Uniwersytetu Stanu Oregon wypreparował, na przykład, tkankę mięśniową ryjkowca libańskiego sprzed 125 milionów lat. Poinar twierdzi, że "jest to najlepiej zachowane białko na Ziemi".²⁵⁶ Jak dotąd udało się otrzymać DNA z około pół tuzina próbek kopalnych okazów zachowanych w bursztynie.

Poeta Aleksander Pope pisał w wierszu *Hesperyd*:

*Dojrzałem muszkę, którą mała
Kropla bursztynu pogrzebała;
Urna maleńka, lecz blask zeń
Grób Kleopatry spychał w cień.*

Teraz zdajemy sobie sprawę, że, istotnie, informacja zawarta w DNA muszki zatopionej w bursztynie może być cenniejsza od tej, którą odczytano w grobowcu Kleopatry.

Przewidywanie chorób. Świat łyżwiarski przeżył szok, kiedy w 1995 roku dwukrotny złoty medalista olimpijski, Siergiej Grinkow, zmarł nagle na atak serca. Miał wówczas zaledwie 28 lat. Poddano analizie pobrany z jego krwi DNA. Jak było do przewidzenia, wykryto u niego defekt genetyczny. Okazało się, że za przedwczesny zawał serca odpowiedzialny był gen PLA2, który Grinkow odziedziczył po swoim ojcu (również młodo zmarłym).²⁵⁷

Jednak największą sensację wzbudziła kwestia zastosowania testów DNA w kryminalistyce. Możliwość identyfikacji próbki DNA na podstawie zaledwie garstki znaczników skierowała kryminalistykę na zupełnie nowe tory.

Zbrodnia, kara i DNA

Testy DNA stały się znane w świecie w 1983 roku, za sprawą sensacyjnego procesu o gwałt i morderstwo, który odbył się w miejscowości Narborough w Anglii. W tej historycznej sprawie, po wielu niespodziewanych zwrotach i odkryciach, za dowód ostateczny uznano test DNA. Zdecydował on o oczyszczeniu z zarzutów głównego podejrzanego i skazaniu prawdziwego mordercy.

Od tego czasu testy DNA odgrywają istotną rolę przy wydawaniu wyroków. Od 1989 roku na ich podstawie zmieniono wyroki w 25% spraw dotyczących przestępstw seksualnych, którymi zajmowało się FBI.²⁵⁸ Ustawa o walce z przestępczością, podpisana przez prezydenta Billa

<http://www.nih.gov>).

²⁵⁶ "New York Times", 30 stycznia 1995, s. C10.

²⁵⁷ "Science News", 3 sierpnia 1996, s. 77.

²⁵⁸ "New York Times", 14 czerwca 1996, s. A12. Analiza tych przypadków wykazała, że ci w większości niesprawiedliwie oskarżeni mężczyźni to ludzie biedni, których nie było stać na drogich adwokatów, aby obalić mylne wnioski policji oraz rodzin ofiar. Na podstawie testów DNA i ujawnionych nowych okoliczności zwolniono aż 48 więźniów, którzy przebywali w celi śmierci od 1973 roku. Jedną z bardziej dramatycznych sytuacji był przypadek czterech młodych ludzi z Chicago,

Clintona w 1994 roku, zawiera ważny postulat, któremu jednak opinia publiczna poświęciła niewiele uwagi, wzywający do stworzenia ogólnonarodowego banku danych DNA.

Od tego czasu 42 stany wprowadziły prawo wymagające pobrania od więźniów próbek krwi lub śliny w celu dokonania analizy DNA. Dwadzieścia sześć z tych stanów rozpoczęło na własną rękę organizację banków danych DNA,²⁵⁹ które ostatecznie połączą się w ogólnonarodowy bank danych.

Jednakże przed 2020 rokiem nastąpi istotna zmiana i metoda "odcisków palców" DNA stanie się zbędna. Znane obecnie markery DNA ustąpią miejsca o wiele bardziej zaawansowanej technice wyznaczania osobistej, indywidualnej sekwencji DNA. "Odciski palców" mogą jedynie pasować lub nie pasować do wzorca, natomiast z pełnej sekwencji DNA można będzie się dowiedzieć, jak dana osoba wygląda i poznać historię jej chorób.

Zbadanie DNA pojedynczej komórki pobranej z płątka łupieżu pozwala, przynajmniej teoretycznie, na rekonstrukcję całego genomu osobnika (za pomocą reakcji łańcuchowej polimerazy).²⁶⁰ Dysponując indywidualną sekwencją DNA, można zrekonstruować istotne cechy danej osoby, w tym grupę krwi, kolor oczu i włosów, płęć, choroby genetyczne, ogólną budowę ciała, stan zdrowia, skłonność do łysienia, przybliżony wzrost i wagę ciała, a nawet chemizm organizmu. (Niektórych cech, takich jak rysy twarzy, których genetyczne podłoże jest nadal niejasne, nie będzie można prawdopodobnie określić nawet w 2020 roku).

Wspomaganie badań nad DNA przez komputery

Dzięki intensywnemu wykorzystywaniu osiągnięć rewolucji komputerowej w biologii molekularnej wprowadzenie osobistych sekwencji DNA w roku 2020 przestaje być jedynie mrzonką. Współpraca badaczy z obu dziedzin została wymuszona przez samą liczbę danych, z jakimi muszą sobie radzić biologowie w związku z sekwencjonowaniem i analizowaniem trzech miliardów nukleotydów. Zwrot w kierunku informatyki okazał się nieuchronny.

"Wiadomo było od dawna - mówi David Botstein - że nadejdzie dzień, kiedy technika zacznie odgrywać decydującą rolę. Ten dzień właśnie nadszedł".²⁶¹ Gwałtowny postęp datujący się od chwili zastosowania komputerów przy wyznaczaniu sekwencji DNA zapiera wręcz dech w piersiach. W latach osiemdziesiątych biolodzy potrzebowali całego roku, aby określić kolejność 10 tysięcy nukleotydów. Już w 1992 roku pojedyncza maszyna mogła wykonać to zadanie w ciągu jednego dnia.²⁶² Leroy Hood z Uniwersytetu Waszyngtońskiego przewiduje, że w 2002 roku zsekwencjonowanie 1-10 milionów nukleotydów zajmie laboratorium jeden dzień! Oznacza to

skazanych za udział w brutalnym gwałcie i morderstwie (w tym dwóch skazanych na karę śmierci), którzy po 18 latach więzienia zostali wypuszczeni na wolność 14 czerwca 1996 roku jako niewinni. "To, że jesteśmy tu dzisiaj, zawdzięczamy DNA" - oświadczył Jeffrey Undangen, adwokat jednego z nich. Z dnia na dzień domniemani przestępcy stali się ludźmi wolnymi ("New York Times", 15 czerwca 1996, s. 6).

W całych Stanach Zjednoczonych przeprowadza się rutynowo ponad 5000 testów DNA, z tego połowę w waszyngtońskim laboratorium FBI. I liczba ta gwałtownie rośnie ("Washington Post", 14 sierpnia 1996, s. C3).

²⁵⁹ "New York Times", 14 czerwca 1996, s. A12.

²⁶⁰ Por. wyżej uwagi dotyczące łańcuchowej reakcji polimerazy.

²⁶¹ "New York Times", 11 czerwca 1996, s. C1.

²⁶² Kevles, Hood (red.): *The Code of Codes*, s. 146.

postęp rzędu trzystu tysięcy razy na 10 lat.

Obecnie największą składnicą sekwencji genów, i to wszelkich żywych form, jest GenBank znajdujący się w Narodowym Laboratorium w Los Alamos. (GenBank został założony w 1982 roku przez matematyka Stanisława Ulama, który wcześniej zasłynął jako współtwórca, u boku Edwarda Tellera, bomby wodorowej). Uлама, podobnie jak wcześniej Schrödingera, Delbrucka, Cricka, Paulinga, Gamowa, Jordana i Gilberta zafascynowała możliwość zastosowania praw mechaniki kwantowej do rozwiązania zagadki życia.²⁶³ Uчени z całego świata przesyłają pocztą komputerową wyznaczone w swoich

laboratoriach sekwencje DNA do komputera w Los Alamos, który działa jak wielka izba rachunkowa dla informacji genetycznej.

Do 1990 roku odczytano sekwencje 60 milionów nukleotydów, z czego 50 milionów znalazło się w GenBanku (jedną

czwartą tej liczby stanowią sekwencje ludzkiego DNA). Do roku 1997 dane GenBanku zawierały już informację o kolejności 843 milionów nukleotydów.²⁶⁴

Aby jeszcze lepiej pojąć, dlaczego komputery i roboty przejmą ostatecznie zadanie wyznaczenia sekwencji DNA, wyobraźmy sobie tę cząsteczkę jako długą wstęgę ciągnącą się aż po horyzont. Na wstędze zaznaczone są poprzeczne prążki szerokości zaledwie milimetra. Każdy prążek reprezentuje jedną parę nukleotydów. W tej skali wstęga odpowiadająca DNA robaka osiągnęłaby długość 200 kilometrów. Natomiast taśma odnosząca się do genomu człowieka miałaby 2500 kilometrów, co odpowiada niemal połowie odległości pomiędzy wschodnim a zachodnim wybrzeżem Ameryki Północnej.

Robert Waterson, matematyk pełniący obecnie funkcję dyrektora największego w USA centrum zajmującego się sekwencjonowaniem DNA, znajdującego się na Uniwersytecie Waszyngtońskim w St. Louis, pisze: "W ciągu ostatnich sześciu lat, wzięwszy pod uwagę wszystkie wyznaczone sekwencje, nie przebyliśmy nawet połowy drogi do Kolumbii (250 km od St. Louis). A planujemy wyprawę do Los Angeles (2500 km)".²⁶⁵

Według informacji Watersona, w ciągu tygodnia jego ośrodek dostarcza informacji o 27 tysiącach odcinków DNA, każdy długości 500 nukleotydów. W ciągu roku liczba ta ma wzrosnąć do 40 tysięcy na tydzień. "Szacujemy, że aby poznać jedną trzecią genomu człowieka w ciągu 5-6 lat, musimy odczytywać 80 do 90 tysięcy odcinków tygodniowo".²⁶⁶

Nowa gałąź nauki: biologia obliczeniowa

Informatycy biorący udział w pracach związanych z sekwencjonowaniem DNA nie będą pakować manatków po ich zakończeniu w 2005 roku. Projekt poznania genomu człowieka daje bowiem początek zupełnie nowej dziedzinie nauki.

"Ten projekt przekształca biologię w naukę informatyczną-Wielu biologów uważa, że zbieranie

²⁶³ Cook-Deegan: *The Gene Wars*, s. 283-285.

²⁶⁴ Wills: *Exons, Introns, and Talking Genes*, s. 51, 90.

²⁶⁵ "New York Times", 11 czerwca 1996, s. C12.

danych o sekwencjach nukleotydów jest nudne. Ale z informatycznego punktu widzenia są to pierwszorzędne, stwarzające niezwykle wyzwanie pytania algorytmiczne" - mówi Richard Karp z Uniwersytetu Waszyngtońskiego, jeden z czołowych informatyków amerykańskich.²⁶⁷

Informatyka wdarła się do biologii w 1983 roku, kiedy to Russell Doolittle i jego współpracownicy, przeglądając po prostu wydruki komputerowe, dokonali wielkiego odkrycia biologicznego, które wstrząsnęło hermetycznym światkiem biologii molekularnej. Bez wykonania jakichkolwiek eksperymentów Doolittle był w stanie wykazać podobieństwo między dwoma odrębnymi makrocząsteczkami zaangażowanymi w różnych obszarach biologii: nowotworowym genem *sis* oraz komórkowym czynnikiem wzrostu. Doolittle i jego współpracownicy zauważyli, że sekwencja DNA znaleziona dla tego szczególnego rodzaju nowotworu oraz sekwencja cząsteczki białka odpowiedzialnego za wzrost komórki są takie same.²⁶⁸ Wskazywało to, że geny nowotworowe powodują nienormalny wzrost komórek. Do tej pory biologii nie uprawiało się w ten sposób.

Robert Cook-Deegan z Narodowej Akademii Nauk zadał retoryczne pytanie: "Jak to możliwe, by tak ważnego odkrycia dokonać, wpatrując się w ekran monitora? Czy na tym polega biologia?"²⁶⁹

Odkrycie to zwiastowało wprowadzenie komputerów jako narzędzi do rozpoznawania pewnych motywów w sekwencjach DNA, zamiast żmudnych badań z wykorzystaniem próbek pełnych białek. "Wkroczenie komputera do biologii dało siłę tym, którzy mieli zdolności matematyczne i głowę do informatyki - zauważył Cook-Deegan. - Pojawiła się nowa rasa naukowców: ekspertów jednocześnie w dziedzinach biologii molekularnej, komputerów i analiz matematycznych".²⁷⁰

W przeszłości biologia opisywała życie, analizując wnętrze żywych organizmów (tzn. *in vivo*). W XIX wieku nauczono się badać procesy życiowe w szkle laboratoryjnym (czyli *in vitro*).

Przyszłości biolodzy będą analizować życie za pomocą komputera (*in silico*).

DNA w mikroprocesorze

Jak w 2020 roku będzie wyglądał proces określania sekwencji DNA? Czy poświęcimy tysiące hektarów powierzchni na monstrualne komputery i roboty analizujące DNA człowieka?

Prawdopodobnie nie. Wielu uczonych uważa, że tak jak przyszłość techniki komputerowej związana jest nieuchronnie z miniaturyzacją mikroprocesora, tak przyszłością sekwencjonowania DNA będą bio-chip i chip DNA, niezwykle osiągnięcia powstałe z połączenia rewolucji komputerowej i biomoleku-larnej.

Bio-chip jest mikroprocesorem zaprojektowanym specjalnie do wykrywania homologii pomiędzy podobnymi genami ludzkimi i zwierzęcymi.²⁷¹ Dla biologów jest on nadzwyczaj użyteczny, gdyż wiedząc, że jakiś gen zwierzęcy koduje pewne znane białko, mogą oni po prostu szukać jego odpowiednika, czyli homo-logu, u człowieka i tym samym ograniczyć tę część pracy badawczej

²⁶⁶ *Ibidem*.

²⁶⁷ *Ibidem*.

²⁶⁸ Cook-Deegan: *The Gene Wars*, s. 293.

²⁶⁹ *Ibidem*.

²⁷⁰ *Ibidem*, s. 293-294.

²⁷¹ Wills: *Exons, Introns, and Talking Genes*, s. 97.

związanej z identyfikacją nieznanych genów ludzkich, która polega na zgadywaniu. Zgodnie z prawem Moore'a, w przyszłości bio-chip przejmie analizowanie DNA.

Pierwszy, najprostszy bio-chip już istnieje. Ma około 0,5 cm średnicy, zawiera 400 tysięcy tranzystorów i zdaniem Leroya Hooda "jest najbardziej złożonym mikroprocesorem, jaki został kiedykolwiek zaprojektowany w Laboratorium Napędu Odrzutowego w Caltech".²⁷² Jest 5 tysięcy razy szybszy od stacji roboczej Sun Sparcstation 1. Na znalezienie sekwencji złożonej z 500 nukleotydów wśród 40 milionów nukleotydów Sun Sparcstation potrzebuje 5 godzin, podczas gdy bio-chip wykonuje to zadanie w 3,5 sekundy.

Obecnie uczeni doskonalą również chip DNA, mikroprocesor, który będzie mógł prawie natychmiast przebadać wybrane geny w DNA danej osoby. Mikroprocesory DNA, które wkrótce znajdą się na rynku, będą w ciągu paru godzin przeprowadzały testy na obecność wirusa HIV, chorobę nowotworową i ewentualność wystąpienia którejś z tysięcy chorób genetycznych. To nowe narzędzie może zrewolucjonizować całą diagnostykę, gałąź gospodarki o obrotach sięgających 17,5 miliarda dolarów.²⁷³

Wraz z pojawieniem się chipa DNA marzenia Gilberta o "osobistym kodzie DNA", zawierającym pełną informację genetyczną danej osoby, przestają być mrzonkami. Już obecnie kilka prężnych firm biotechnologicznych rozpoczęło wyścig w rozszyfrowywaniu ludzkiego DNA, podejmując badanie tej cząsteczki za pomocą mikroprocesora. Połączenie komputerów i biologii molekularnej w chipie DNA zapowiada nową erę tanich i szybkich badań genetycznych.

Oglądany gołym okiem mikroprocesor DNA wygląda mało interesująco. Jest wielkości paznokcia i pozornie niewiele różni się od mikroprocesorów używanych w większości pecetów. Natomiast pod mikroskopem można ujrzeć zadziwiający obraz. Wykorzystując tę samą technikę fotolitografii, której używa się przy wytrawianiu mikroskopijnych rowków w maleńkich tranzystorach, uczeni stosują szablon pozwalający zsyntetyzować na płytce nici DNA o konkretnych sekwencjach nukleotydów. Po zanurzeniu płytki w roztworze zawierającym fragmenty cząsteczek DNA przyklejają się do niej tylko te segmenty, które idealnie pasują do umieszczonych na niej sond. Wszystkie pozostałe fragmenty są odpłukiwane. W świetle lasera przyklejone segmenty fluoryzują, co pozwala komputerowi na identyfikację sekwencji.

Affymetrix, firma zajmująca się rozwojem zaawansowanych technologii, wprowadza obecnie na rynek mikroprocesor z 65 536 sondami, z których każda jest łańcuchem złożonym z ośmiu nukleotydów. "W rzeczywistości dysponujemy już prototypem z milionem sond" - twierdzi Robert J. Lipshutz, jeden z dyrektorów firmy.²⁷⁴ Affymetrixowi udało się umieścić na chipie DNA wszystkie geny wirusa HIV, co może niezwykle przyspieszyć wykrywanie AIDS.

Możliwości mikroprocesora DNA, będącego miniaturą całego laboratorium, są przeogromne. Już teraz można użyć takich płytek do wykrywania mutacji genu *p53*, występujących w ponad połowie wszystkich rodzajów nowotworów. Mukowłscidozę, którą wywołuje jedna z 450 różnych mutacji,

²⁷² Kevles, Hood (red.): *The Code of Codes*, s. 147.

²⁷³ "New York Times", 18 sierpnia 1996, sekcja 3, s. 1.

²⁷⁴ Nowe układy, stare pomysły: Czy mikrosondy DNA też spowodują rewolucję?, "Świat Nauki", listopad 1996, s. 24.

chip DNA może ujawnić w ciągu kilku godzin. Cała operacja kosztuje zaledwie kilka dolarów. (Tradycyjna metoda identyfikacji genu związanego z mukowiscydozą jest dość kosztowna i trwa co najmniej tydzień).²⁷⁵

Era postgenomowa: lata 2020-2050

Szybki postęp, który z czasem umożliwi wyznaczanie sekwencji DNA dla poszczególnych osób, powinien trwać nieprzerwanie przez następnych 25 lat. W dużej mierze jest on ubocznym skutkiem faktu, że techniki sekwencjonowania łatwo poddają się automatyzacji i skomputeryzowaniu. W 2020 roku powinniśmy dysponować już niemal pełnym wydaniem "encyklopedii życia".

Po roku 2020, kiedy w zasadzie każdy będzie mieć osobisty kod DNA, podstawowym przedmiotem badań stanie się zrozumienie, w jaki sposób geny "czynią swe czary" w naszych ciałach. Jak ujmuje to Walter Gilbert: "Nauka zajmie się badaniem, co dana sekwencja oznacza, co ten gen właściwie robi".²⁷⁶

Biolodzy molekularni zostaną zalani informacjami o milionach milionów genów różnych organizmów i będą musieli żmudnie określać ich funkcje. Samo posiadanie osobistego CD-ROM-u, na którym gęsto upakowano 3 miliardy symboli, nie da nam przecież wiedzy o tym, jak działają nasze geny.

Odkodowany zapis sekwencji DNA drożdży może, na przykład, posłużyć teraz jako laboratorium badawcze dla rozszyfrowania funkcji genów człowieka. W tym celu naukowcy zazwyczaj usuwają dany gen lub wywołują jego mutację i obserwują skutki, jakie ta zmiana powoduje w organizmie. (Tę brutalną metodę można porównać do próby zrozumienia, jak funkcjonuje superkomputer, przez rozbijanie kolejnych części i obserwowanie zmian pojawiających się w sposobie jego działania). Cykl reprodukcyjny drożdży trwa kilka godzin, co czyni z nich niezwykle atrakcyjny model doświadczalny w porównaniu na przykład z myszami. Uczeni odkryli już, że ludzki gen nowotworowy *ras* występuje również u drożdży. I podobnie jak u człowieka, mutacja tego genu może spowodować utratę przez drożdże kontroli nad procesami namnażania się komórek. Drożdże okazały się także kopalnią wiedzy na temat wielu innych genów ludzkich, również tych mających znaczenie w chorobach neurologicznych czy schorzeniach układu kostnego (mimo że drożdże nie mają ani układu nerwowego, ani szkieletu).²⁷⁷

Jedną z przeszkód, która w erze postgenomowej będzie spowalniać postęp, jest osławiony "problem zwijania się białek" Struktura molekularna makrocząsteczki jest punktem docelowym badań biologii molekularnej. Znajomość kształtu cząsteczki pomaga często określić jej funkcję. Na przykład, wiele cząsteczek organicznych oddziałuje z innymi na zasadzie klucza i zamka - cząsteczka, lub jej część, odpowiadająca kształtem kluczowi wsuwa się w zagłębienie w innej cząsteczce (zamek). Niestety, siła napędowa biologii molekularnej, krystalografia rentgenowska, jest uzależniona od możliwości otrzymania próbek krystalicznych badanej substancji. Jeśli jakies

²⁷⁵ *Ibidem*, s. 23.

²⁷⁶ Kevles, Hood (red.): *The Code of Codes*, s. 93.

²⁷⁷ "Progress from the National Center for Human Genome Research", 24 kwietnia 1996.

białko nie daje się wykrystalizować, nie można badać go metodami krystalograficznymi.

Stosując standardowe metody chemiczne, można określić, jakie atomy (często jest ich tysiące) tworzą cząsteczkę białka oraz jaka jest sekwencja obecnych w niej aminokwasów. Jednak nic nam to nie mówi o ich fizycznym ułożeniu w trójwymiarowej przestrzeni. Cząsteczki białkowe są łańcuchami aminokwasów, a łańcuchy te przypominają wstęgi i helisy posklejane ze sobą na najprzeróżniejsze sposoby. Na pierwszy rzut oka próby określenia kształtu złożonych cząsteczek bez użycia metod krystalograficznych wydają się skazane na niepowodzenie.

W rozwiązaniu tego problemu z pomocą przychodzi nam fizyka kwantowa. Mechanika kwantowa umożliwia obliczenie kątów pomiędzy wiązaniami chemicznymi, co z kolei pozwala określić, jak wstęgi i helisy ustawiają się w przestrzeni względem siebie. Aby jednak znaleźć dokładną konfigurację tych wstążek i helis, trzeba posłużyć się potężnym superkomputerem.

Wszystkie układy fizyczne dążą do stanu o najniższej energii. Wyobraźmy sobie cząsteczkę złożoną z bardzo wielu sprężynek powiązanych sznurkiem. Jeśli potrząśniemy tym "wynałazkiem", w pierwszym momencie będzie nam się wydawało, że obserwowane ruchy sprężynek są zupełnie przypadkowe i niemożliwe do przewidzenia. W rzeczywistości jednak ostateczna konfiguracja zwoju sprężynek, jak skomplikowana by nie była, to po prostu stan o minimalnej energii.

Wykorzystując superkomputery, można obliczyć energię milionów możliwych konfiguracji wstęg i helis. Wybierając te ukształtowania, które odpowiadają stanom o najniższej energii, możemy zobaczyć, jak białko zwija się do swojego ostatecznego kształtu.

Nic zatem dziwnego, że nader złożony problem określenia struktury białka wymaga wielkiej pomysłowości i mnóstwa obliczeń. Do 2005 roku poznamy w zasadzie sekwencję amino-kwasową 100 tysięcy białek budujących ludzki organizm. Jednak uczeni będą jeszcze przez wiele dziesiątków lat korzystać z superkomputerów, badając, jak poskręcane są owe tysiące białkowych cząsteczek w trójwymiarowej przestrzeni.

Jak można sobie wyobrazić, po roku 2020, kiedy w badaniach zaczną dominować trudne zagadnienia działania genów, chorób poligenowych oraz struktury przestrzennej białek, postęp stanie się prawdopodobnie znacznie wolniejszy. Będzie to proces żmudny i pracochłonny, przyniesie jednak ogromne korzyści. Rozwikłana zostanie tajemnica wielu chorób genetycznych, które nękają ludzkość od najdawniejszych czasów. Możemy również uzyskać molekularne narzędzia niezbędne do pokonania jednego z największych zabójców współczesności - raka.

WALKA Z RAKIEM, CZYLI NAPRAWA GENÓW

*Nie jest już tajemnicą, jak rozwija się rak. ROBERT A. WEINBERG, MIT
[...] nadchodzą czasy, kiedy raka będziemy zwalczać czarodziejskimi pociskami,
tak jak dziś leczymy choroby zakaźne za pomocą szczepionek i antybiotyków.
FRANCIS COLLINS, Narodowe Instytuty Zdrowia*

Rebeka Lilly jest typową, kipiącą życiem szesnastoletnią licealistką. Bystra, zgrabna, żywiołowa nastolatka żyje tak samo jak większość jej rówieśników - najważniejsze są dla niej szkoła, stopnie i spotkania z przyjaciółmi. Tom Mayers, trener drużyny, w której gra Rebeka, mówi o niej z dumą: "Ona ma serce wielkie jak to boisko. Jest dzielna, nigdy nie narzeka i nie poddaje się. Jeszcze nam dodaje ducha".²⁷⁸

Jedną z najradośniejszych chwil w życiu Rebeki było przyjęcie z okazji jej szesnastych urodzin. Kręciła się po parkiecie, tańczyła makarenę i świetnie się bawiła wraz z koleżankami i kolegami. Jak większość nastolatek i ona marzy o chłopaku, zabawach, cudownej przyszłości. Niestety, marzenia te mogą się nigdy nie spełnić. Rebekę dzieli od przyjaciół nieopisana przepaść. Cierpi bowiem na nieuleczalny guz mózgu. W listopadzie 1995 roku Rebeka stała się pierwszą osobą, u której zastosowano terapię genową do zwalczania raka mózgu.

Już w wieku dziesięciu lat Rebeka zdawała sobie sprawę, że może umrzeć na nowotwór mózgu - odmianę wysoce złośliwego glejaka (*glioma*), nieubłaganie rozwijającego się wewnątrz jej czaszki. Pozostawiony samemu sobie, guz rozrastałby się bezlitośnie tak długo, aż rozsądziłby mózg. Od tej pory Rebeka wielokrotnie przebywała w różnych szpitalach. Dobrze zna się na prześwietleniach czaszki, rezonansie magnetycznym, naświetlaniach i chirurgii mózgu, ale w szkolnych testach egzaminacyjnych wypada kiepsko.

Czterokrotnie przeszła operację na otwartym mózgu, ale za każdym razem guz odrastał. Chemioterapia nie wchodziła w grę, ponieważ substancje niszczące komórki nowotworowe nie mogą pokonać bariery krew-mózg, a co za tym idzie - zaatakować guza.²⁷⁹

Kiedy te wszystkie środki okazały się nieskuteczne, rodzice Rebeki chwycili się ostatniej deski ratunku. Wyrazili zgodę na zastosowanie radykalnej, eksperymentalnej metody - terapii genowej.

W czasie wyczerpującej, trwającej dziewięć godzin operacji usuwania masy guza lekarze wstrzyknęli do mózgu Rebeki spreparowanego wirusa. Uczni zmienili jego materiał genetyczny, unieszkodliwiając go i wszczepiając mu jednocześnie gen, który umożliwiał zaatakowanie komórki nowotworowej i spowodowanie jej śmierci. Wirus niczym kort trojański miał podstępnie doprowadzić komórki rakowe do samozagłady.

²⁷⁸ "Washington Post", 11 czerwca 1996, sekcja Zdrowie, s. 11.

Przez pewien czas wydawało się, że terapia ta rzeczywiście działa. Rebeka odzyskała poczucie humoru, poprawiła się jej pamięć i dziewczyna zaczęła wracać do zdrowia. "Przeżyła sześć szczęśliwych miesięcy" - mówi jej lekarz.

Niestety, w maju 1996 roku kolejne badanie za pomocą rezonansu magnetycznego wykazało, że guz odrósł. "To była jedna wielka rozpacz" - przyznaje z rezygnacją Roger Packer, neurolog ze szpitala w Bethesda (Maryland), w którym leczono Rebeke.²⁸⁰

W tym samym roku pojawiły się jednak nowe nadzieje związane z terapią genową.²⁸¹ Wprowadzając prawidłową wersję genu *p53* na miejsce formy zmutowanej, której obecność stwierdza się w ponad 50% przypadków powszechnie występujących nowotworów (nazwa pochodzi stąd, że gen ten koduje białko o masie 53 tysięcy jednostek atomowych), lekarzom z Uniwersytetu Teksaskiego udało się zmniejszyć u dwóch pacjentów rozmiary guza płuc, u trzech innych powstrzymać rozwój takiego nowotworu, a jednego chorego całkowicie wyleczyć.

Choć nikt jeszcze nie twierdzi, że jest to lekarstwo na raka, pewnego dnia może się okazać, że terapia genowa zrewolucjonizowała sposoby zwalczania nowotworów i chorób o podłożu genetycznym. Niewykluczone, że terapia genowa ostatecznie przyczyni się do pokonania wirusa HIV i pomoże w walce z przewlekłymi chorobami, takimi jak choroba Alzheimera, choroby psychiczne czy zapalenie stawów, a także z procesami starzenia.

W roku 2020 lekarze będą zapewne wspominać chemioterapię, naświetlanie i zabiegi chirurgiczne w leczeniu raka z konsternacją podobną tej, z jaką dziś myślimy o dawnych metodach stosowania arszenku, upuszczania krwi i przystawiania pijawek. W 2020 roku całe grupy chorób o podłożu genetycznym, w tym wiele form nowotworów, będą być może postrzegane tak samo, jak dziś ospa wietrzna.

Ojciec terapii genowej

"Puściły śluzę - obwieszcza kierujący własnym instytutem na Uniwersytecie Południowej Kalifornii W. French Anderson, zwany czasami ojcem terapii genowej. - Mamy zielone światło. Musimy teraz iść krok za krokiem. Ale jesteśmy właśnie na samym początku obiecującego i niezwykle ekscytującego okresu w historii medycyny. W jakich wspaniałych czasach przyszło nam żyć!"²⁸²

Anderson przewiduje, że do 2020 roku będziemy nie tylko znać osobiste sekwencje DNA, ale "w większości chorób jedną z metod leczenia stanie się terapia genowa".²⁸³ Wielu kolegów Andersona podziela jego entuzjazm. Leroy Hood z Uniwersytetu Waszyngtońskiego przepowiada z wielką pewnością siebie: »W ciągu następnych 20-40 lat będziemy mogli wyplenić wszystkie główne choroby, które nękają ludzi w Ameryce".²⁸⁴

²⁷⁹ *Ibidem.*

²⁸⁰ *Ibidem.*

²⁸¹ "Washington Post", 29 sierpnia 1996, s. A9.

²⁸² Jeff Lyon, Peter Gerner: *Altered Fates*. W. W. Norton, Nowy Jork 1995, s. 24.

²⁸³ "Time", wydanie specjalne, jesień 1996, s. 28.

²⁸⁴ Lyon, Gerner: *Altered Fates*, s. 35.

Te pomyślne przewidywania wynikają ze świadomości, że im dłużej badamy choroby, tym lepiej rozumiemy ich podłoże genetyczne i molekularne. Paul Berg, noblista z Uniwersytetu Stanforda, sądzi nawet, że w istocie wszystkie choroby mają podłoże genetyczne: "Możesz godzinami dowodzić, że istnieje taka choroba, która nie ma początku w genach, a ja i tak się nie dam przekonać".²⁸⁵

Anderson, który jest pionierem w tej rodzącej się dopiero dziedzinie, próbuje sił także w wyścigach Formuły 1, w archeologii, medycynie sportowej i w swojej specjalności, Tae Kwon Do, koreańskiej sztuce walki. Ma czarny pas czwartego stopnia. Dla relaksu kopie czasami stos desek, łamiąc pięć naraz. Był nawet głównym lekarzem amerykańskiej reprezentacji Tae Kwon Do na Olimpiadzie w Seulu w 1988 roku.

Anderson lubi porównywać wschodnie sztuki walki do badań nad podstawowymi mechanizmami genetycznymi komórki. Twierdzi, że "naukę uprawia się najlepiej, nie myśląc; jest ona czymś transcendentnym i intuicyjnym".²⁸⁶ W przeciwieństwie do innych dziedzin nauki, których podstawowe prawa są dobrze znane, terapia genowa jest nową dziedziną, w której trzeba kierować się instynktem, i - podobnie jak Tae Kwon Do - wymaga śmiałej inwencji oraz ciężkiej pracy.

W 1990 roku grupa Andersona uzyskała, jako pierwsza na świecie, pozwolenie na przeprowadzenie eksperymentu, którego rewolucyjny charakter może zmienić oblicze nauki XXI wieku: pozwolono im naprawić uszkodzone geny człowieka. Wkrótce cała armia lekarzy poszła w ślady Andersona. Przeprowadzono doświadczenia, w których wykorzystano terapię genową do leczenia rozmaitych chorób. W 1993 roku podjęto 40 takich prób. W 1996 roku liczba ta wzrosła do 200, a poddanych leczeniu było już 1500 pacjentów.²⁸⁷ Badano 30 różnych chorób, z których niemal połowę stanowiły nowotwory.²⁸⁸ Doświadczenia nad terapią genową pochłonęły 200 milionów dolarów z budżetu Narodowych Instytutów Zdrowia.²⁸⁹

Na takich właśnie próbach klinicznych opierają się nadzieje i błagalne modły chorych, których spotkał los Rebeki.

Trzy etapy w medycynie

Rewolucja w biologii molekularnej wprowadzi nas, zdaniem Andersona, w erę medycyny trzeciej generacji, podobnie jak stało się w przypadku komputerów. W pierwszym, trwającym tysiące lat okresie, szamani i mistycy przetrząsali królestwo roślin w poszukiwaniu ziół, które mogłyby odpędzać złe duchy. Czasami natykali się na rzeczywiście wartościowe środki, używane po dziś

²⁸⁵ *Ibidem*, s. 28.

²⁸⁶ *Ibidem*, s. 37.

²⁸⁷ Doświadczenia ze stosowaniem terapii genowej objęły SCID (zespół ciężkiego złożonego niedoboru odporności), mukowiscydozę, chorobę Gau-chera, rodzinną hipercholesterolemię, hemofilię, niedobór fosforylasy nu-kleozydów purynowych, niedobór alfa-1 antytrypsyny, anemię Fanconie-go, zespół Huntera, przewlekłą chorobę ziarniniakową, gościec przewlekły postępujący, chorobę naczyń obwodowych, AIDS i nowotwory (czerniak, ja-snokomórkowy rak nerki, jajnika, nerwiak niedojrzały, nowotwory mózgu, głowy i szyi, płuc, wątroby, sutka, okrężnicy, gruczołu krokowego, mię-dzybłoniak, białaczka, chłoniak, szpiczak mnogi). Zob. "Świat Nauki", listopad 1995, s. 95.

²⁸⁸ "Time", wydanie specjalne, jesień 1996, s. 29.

²⁸⁹ "Science News", 23 i 30 grudnia 1995, s. 428.

dzień. Niektóre z naszych pospolitych leków pochodzą właśnie tych czasów. Ale na każde pożyteczne zioło, które w wyniku prób i błędów okazywało się pomocne w leczeniu pewnych dolegliwości, przypadały tysiące innych, które były nieskuteczne lub wręcz szkodliwe.

Na przykład wiejski doktor, jeden z założycieli słynnej kliniki Mayo w Rochester, w stanie Minnesota, odnotował z rzadko spotykaną szczerością, że większość przygotowywanych przez niego mikstur była bezwartościowa. W swojej czarnej torbie miał natomiast zawsze dwa niezawodne środki: morfinę i piłę, których używał przy amputacjach, i te zawsze się sprawdzały.

W następnym okresie, który rozpoczął się po drugiej wojnie światowej, chwilowo udało się opanować całe grupy chorób dzięki powszechnemu stosowaniu szczepionek i antybiotyków. Abigail Salyers i Dixie Whitt, autorzy książki *Bacterial Pathogenesis (Patogeneza bakteryjna)*, piszą: "Jednym z powodów osiągnięcia przez lekarzy wysokiego statusu poważanych w społeczeństwie specjalistów było pojawienie się antybiotyków. Pozwoliło im to leczyć choroby, których przebieg w przeszłości mogli co najwyżej łagodzić".²⁹⁰

Na szczęście medycyna wkracza w trzeci okres - medycyny molekularnej, być może najbardziej ekscytujący i najbardziej znaczący ze wszystkich. Po raz pierwszy w historii pojawia się możliwość wejrzenia w każdy etap patogenezy, schodzimy na poziom białka, cząsteczki, a nawet atomu. Podobnie jak generał gorliwie studiuje plany fortyfikacji nieprzyjaciela, odnajdując słabe punkty w uzbrojeniu, tak dzisiejsi uczeni odczytują całe genomy zarazków.

Jak zauważył Sherwin B. Nuland z Wydziału Medycyny Uniwersytetu Yale: "W ciągu zaledwie 20 lat odwieczna sztuka rawiania przeszła od względnie powierzchownego i ograniczonego optymizmu ery antybiotyków do nieograniczonych, jak się wydaje, perspektyw i możliwości epoki molekularnej".²⁹¹

Plaga nowotworów

Choroba, z którą nie mógł sobie dać rady najbardziej intensywny i przełomowy program w historii badań medycznych, zaczyna w końcu ujawniać swe tajemnice medycynie molekularnej. Rak, jedna z najstraszniejszych chorób, stanowi drugą z najczęstszych przyczyn śmierci w Stanach Zjednoczonych (po chorobach serca).²⁹² Tylko w USA co roku umiera na nowotwory pół miliona ludzi. Rak jest również jednym z najbardziej rozpowszechnionych schorzeń. W sumie znanych jest 200 rodzajów nowotworów (atakujących prawie każdy rodzaj tkanki ludzkiego ciała). W przeciwieństwie do komórek zdrowych, komórki nowotworowe tracą zdolność do zatrzymywania swych podziałów. Są nieśmiertelne - mnożą się bez ograniczeń, aż w końcu dławią normalne funkcje organizmu i zabijają ofiarę. (Nie oznacza to jednak, że każda komórka nowotworowa jest nieśmiertelna. Poszczególne komórki rakowe umierają, tak samo jak zwykle komórki. Różnica polega na tym, że komórki nowotworowe dzielą się bez końca, więc linia komórkowa staje się nieśmiertelna).

²⁹⁰ Abigail Salyers, Dixie D. Whitt: *Bacterial Pathogenesis*, ASM Press, Waszyngton 1994, s. 100.

²⁹¹ "Time", wydanie specjalne, jesień 1996, s. 12.

²⁹² Enzo Russo, David Cove: *Genetic Engineering*. W. H. Freeman, Nowy Jork 1995, s. 4.

Naukowcy są bliscy pełnego zrozumienia procesu nowotworzenia na poziomie molekularnym. W głównych zarysach zagadka powstawania raka została rozwiązana. Wykazano, że nowotwór jest chorobą genetyczną. Ustalono także kolejność 4-6 mutacji prowadzących do rozwoju komórek nowotworowych wielu powszechnie występujących nowotworów. Zidentyfikowano nie tylko geny decydujące o nowotworzeniu: znane są również podstawowe molekularne etapy przekształcania się zdrowych komórek w rakowe.

"Poszczególne elementy tej układanki trafiły w końcu na swoje miejsca" - twierdzi Robert A. Weinberg z MIT.²⁹³ Im bliżsi jesteśmy poznania najdrobniejszych szczegółów procesów powstawania i rozwoju nowotworów, tempo prac w ośrodkach badań nad rakiem rośnie. "To są najbardziej ekscytujące czasy, jakie można sobie wyobrazić" - mówi Dennis Salmon, badacz nowotworów pracujący na Uniwersytecie Kalifornijskim w Los Angeles.²⁹⁴

Medycyna molekularna dała już odpowiedź na jedno z podstawowych pytań związanych z rakiem - dlaczego rozwój choroby nowotworowej ma tak wiele różnorodnych przyczyn: styl życia, warunki środowiska, wirusy, toksyny, dieta, promieniowanie, palenie papierosów, tłuszcze zwierzęce, hormony płciowe takie jak estrogen itd. Około 30% przypadków raka można powiązać z samym tylko paleniem tytoniu. Jeśli dodać do tego udział diety, to mamy już przyczyny 60% nowotworów. Przeprowadzając badania porównawcze dotyczące przedstawicieli wybranych grup etnicznych, którzy osiągają dojrzałość w określonych rejonach świata (na przykład Murzynów i Japończyków dorastających w USA), epidemiolodzy doszli do wniosku, że ogromną większość przypadków nowotworów, nawet do 70-90%, można skorelować ze środowiskiem i warunkami życia.²⁹⁵

Jednolita teoria nowotworów

W kancerogenezie główną rolę odgrywają dwa podstawowe rodzaje genów: onkogeny i geny supresorowe. Działają one tak jak pedał gazu (onkogeny) i hamulec (geny supresorowe). Jedno urządzenie pozwala na rozpędzenie samochodu, drugie go zatrzymuje. Panowanie nad samochodem można stracić w dwóch przypadkach: gdy zatnie się pedał gazu (zaktywizowane onkogeny) albo gdy zawiodą hamulce (zablokowane geny supresorowe). Inaczej mówiąc, komórka może "zwariować", dzieląc się w sposób niekontrolowany albo tracąc możliwość powstrzymania kolejnych podziałów.²⁹⁶

Uczeni odkryli ponad 50 typów onkogenów związanych z nowotworami piersi, okrężnicy (czyli części jelita grubego), pęcherza moczowego i płuc. Wśród nich jest gen kodujący białko P21 (nazwa pochodzi stąd, że masa tego białka wynosi 21 tysięcy jednostek atomowych, czyli tyle, ile waży 21 tysięcy atomów wodoru) oraz gen *p60*, kodujący białko p60.²⁹⁷

²⁹³ Robert A. Weinberg: *Racing to the Beginning of the Road*. Random House, Nowy Jork 1996, s. 256.

²⁹⁴ "Time", 25 kwietnia 1994, s. 56.

²⁹⁵ Russo, Cove: *Genetic Engineering*, s. 123.

²⁹⁶ Przełom nastąpił w 1975 roku, kiedy J. Michael Bishop oraz Harold E. Varmus z Uniwersytetu Kalifornijskiego w San Francisco odkryli, że w komórkach ludzkich zdarzają się takie mutacje onkogenów, w wyniku których komórki rakowacieją. Ta historyczna praca przyniosła autorom Nagrodę Nobla.

²⁹⁷ Thomas F. Lee: *The Human Genome Project*. Plenum Press, Nowy Jork 1991, s. 198.

Do drugiej klasy genów odgrywających istotną rolę w procesach nowotworzenia, do genów supresorowych, zaliczamy zmutowane wersje genu *DCC* oraz przede wszystkim *p53*, której obecność stwierdzono w większości przypadków powszechnie spotykanych nowotworów. W przeciwieństwie do onkogenów, wspomniane tutaj defekty genetyczne dotyczą genów zaangażowanych w zakończenie procesu podziałowego komórki. Gdy geny te zmutują, komórki tracą kontrolę nad swymi podziałami i mnożą się bez końca.

Przed rokiem 2020 lekarze spodziewają się skompletować niemal pełną encyklopedię setek onkogenów oraz genów supresorowych. Pozwoli to zrozumieć molekularne podstawy powstawania choroby nowotworowej i otworzy nowe możliwości walki z rakiem.

p53: przyczyna większości nowotworów

Przekonanie naukowców, że w 2020 roku nowotwory należące do wielu różnych klas będą uleczalne, wynika z faktu, że większość przypadków raka spowodowanych jest mutacjami w obrębie zaledwie paru genów. Wśród nich najważniejszy wydaje się gen *p53*. Chociaż istnieją zapewne setki genów zaangażowanych w procesy kancerogenezy, w zwalczaniu raka kluczowa może się okazać neutralizacja, poprzez terapię genową lub za pomocą "inteligentnych cząsteczek", mutacji wspólnych dla większości spotykanych nowotworów.

Każdego roku okazuje się, że zmutowane wersje *p53* uczestniczą w rozwoju kolejnych nowotworów, od raka płuc, okrężnicy, piersi, poprzez nowotwory przelyku, wątroby, mózgu i skóry aż po białaczki. Jego obecność stwierdzono w 52 powszechnie występujących typach nowotworów, a procent przypadków raka, w których stwierdza się mutacje w *p53*, jest zatrwajająco wysoki: 90% dla nowotworów szyjki macicy, 80% dla wszystkich nowotworów okrężnicy, 40-60% dla nowotworów jajników, 35-60% dla nowotworów pęcherza moczowego i 50% dla nowotworów mózgu. "Jest to wyraźnie najczęściej zmutowany gen spośród tych, które wiążemy z powstawaniem raka u człowieka" - odnotował Bert Vogelstein z Wydziału Medycyny Uniwersytetu Johnsa Hopkinsa. Genowi temu przypisuje się tak wielkie znaczenie, że uczeni mianowali *p53* "strażnikiem genomu", o ile funkcjonuje on poprawnie. Rola tego białka w procesach kancerogenezy jest tak istotna, że w 1994 roku magazyn *Science* nazwał go cząsteczką roku.²⁹⁸

Zrozumienie roli *p53* pozwoliło również rozwiązać niektóre zagadki od dawna nurtujące naukowców zajmujących się tą dziedziną badań.²⁹⁹

Prawidłowy gen *p53* powstrzymuje proces dzielenia się komórek uszkodzonych lub zawierających mutacje oraz wyzwala mechanizm ich samobójczej śmierci (proces zwany apoptozą). Komórki, w których *p53* jest zmutowany lub jego działanie zostaje zablokowane, mnożą się bez końca, co prowadzi do powstania guzów.

Jak obecnie sądzimy, tak częste występowanie nieprawidłowego genu *p53* w wielu

²⁹⁸ "Time", 25 kwietnia 1994, s. 60.

²⁹⁹ Chociaż gen *p-53* został odkryty przez Arnolda J. Levine'a z Princeton oraz Davida Lane'a z Molecular Research Council w Cambridge w roku 1979, to dopiero w ciągu ostatnich sześciu lat zdano sobie sprawę, jak ogromną i centralną

różnorodnych typach nowotworów jest pochodną jego struktury molekularnej. Tworzy go delikatny fragment DNA o długości 2362 nukleotydów, znajdujący się na krótszym ramieniu chromosomu 17. Mutacje mogą wystąpić w ponad 100 miejscach, *p53* jest więc pokryty punktami potencjalnie podlegającymi mutagenezie. (Dla porównania: w innych genach, zwykle wiązanych z procesem nowotworowym, odnajdujemy szkodliwe mutacje w nie więcej niż kilku punktach).

Białko *p53* jest w rzeczywistości agregatem składającym się z czterech lub więcej identycznych kopii mniejszej jednostki strukturalnej. Aby mogło ono właściwie kontrolować procesy podziału komórkowego, wszystkie cztery podjednostki muszą funkcjonować poprawnie. Fakt, że *p53* jest taką nieporęczną cząsteczką białka, czyni je szczególnie wrażliwym na mutacje. Na przykład rak okrężnicy związany jest prawdopodobnie z 4-6 mutacjami genów. Typowy proces prowadzący do powstania tego rodzaju nowotworu może przebiegać następująco: zaburzenie działania genu *APC*, aktywacja genu *K-ras* i utrata funkcji genów *DCC* oraz *p53*.

Pomaga to rozwiązać jedną z głównych zagadek raka: dlaczego upływa nieraz 20-40 lat od pierwotnej ekspozycji na promieniowanie, azbest czy inne kancerogeny, zanim wystąpią kliniczne objawy raka? Przyczyna tego długiego okresu inkubacji tkwi w tym, że zanim dojdzie do zakłócenia mechanizmów kontroli wzrostu komórkowego, musi nastąpić cały szereg mutacji. Sukcesywnie następujące uszkodzenia komórkowych procesów reprodukcyjnych zazwyczaj wymagają czasu. Trwa to nieraz dziesiątki lat.

Wszystko to ma istotne implikacje praktyczne. Już dzisiaj dostępne są testy krwi pozwalające wykryć obecność zmutowanych odmian genu *p53*. Chociaż do tego, by ujawniła się choroba nowotworowa, musi zajść jeszcze 3-5 innych mutacji, zmiana w *p53* wydaje się najważniejszą z nich. W 2020 roku testy wykazujące uszkodzenia *p53* oraz uszkodzenia setek innych genów związanych z chorobami nowotworowymi powinny być powszechnie dostępne. Ponadto jednym z celów terapii genowej będzie badanie, czy istnieją możliwości podstawienia uszkodzonych genów *p53* ich niezmutowanymi formami.

Wyjaśnienie roli *p53* pomoże także zrozumieć, dlaczego pewne rodzaje związków chemicznych i czynników środowiskowych wywołują raka. Gen *p53* ma kilka "gorących miejsc", szczególnie łatwo mutujących pod wpływem toksyn chemicznych.* Na przykład wiadomo, że aflatoksyna, występująca w spleśniałym pożywieniu, silny kancerogen wywołujący raka wątroby, powoduje w *p53* mutację polegającą na zamianie G w T. Analizując sposoby, na jakie pewne związki chemiczne mogą powodować mutacje genu *p-53*, można zrozumieć, dlaczego konkretne czynniki środowiska i trucizny przyczyniają się do powstawania nowotworów.³⁰⁰

Odkrycia tego typu znacząco wpłyną na losy całych gałęzi przemysłu, wartych wiele miliardów dolarów. Na przykład przedstawicielom przemysłu tytoniowego udawało się, jak dotąd, odrzucać oskarżenia wnoszone przez rodziny palaczy zmarłych na raka płuc, mogli bowiem utrzymywać, że nie istnieje ostateczny dowód na to, iż palenie papierosów istotnie wywołuje tę chorobę. Dopóki

rolę odgrywa ten gen w procesach kancerogenezy.

³⁰⁰ "New York Times", 23 kwietnia 1991, s. C9.

związek między paleniem tytoniu a nowotworami płuc ustalony jest jedynie pośrednio, na podstawie badań epidemiologicznych i statystyki, a nie metodami biochemicznymi, przemysł tytoniowy może odpiierać ataki, argumentując, że nie złapano ich na gorącym uczynku.

Sytuacja uległa zmianie w 1996 roku, kiedy uczeni dowiedli, że pewna pochodna benzopirenu (ang.: *benzo-cdfa-piren diol epo-xide*, BPDE) występująca w dymie z papierosów wywołuje charakterystyczne mutacje genu *p53* w trzech specyficznych punktach.³⁰¹ Mutacje te są "odciskami palców" BPDE i łatwo je odkryć w genie *p53*, który uległ uszkodzeniu pod wpływem dymu tytoniowego. Te właśnie mutacje są ściśle związane z rakiem płuc.

Ponieważ 400 tysięcy Amerykanów umiera każdego roku na raka płuc (z tego, zgodnie z danymi Amerykańskiego Towarzystwa ds. Walki z Rakiem, 80-90% przypadków może być powiązanych z paleniem tytoniu), reperkusje polityczne i ekonomiczne przedstawionych powyżej badań mogą okazać się ogromne. W przyszłości można będzie wytoczyć proces sądowy na podstawie obecności w tkance guza specyficznych molekularnych "odcisków palców" kancerogenów w genach takich jak *p53*, *p16*, *ras* itp.

Do 2020 roku uczeni powinni *znaleźć* genetyczne odciski setek różnych rodzajów chemicznych zanieczyszczeń występujących w naszym otoczeniu. Porównując konkretny przypadek raka z genetycznym śladem pozostawionym przez kancerogen, badacze będą mogli wykazać, co spowodowało chorobę danej osoby. Wywrze to z pewnością ogromny wpływ na kontrolę zanieczyszczeń i pozwoli na ustalenie, kto powinien płacić za szkody. A może pozwoli również wyjaśnić tajemnicę obserwowanego na Zachodzie szybkiego wzrostu liczby zachorowań na raka piersi, zjawiska nurtującego epidemiologów.³⁰²

Jednak jedno z najbardziej intrygujących odkryć ostatnich lat dotyczy tak zwanych telomerów,

³⁰¹ Mikhail F. Denissenko i in.: Preferential Formation of Benzo[a]pyrene Adducts at Lung Cancer Mutational Hotspots [w] *P53*, "Science", 18 października 1996, s. 430.

³⁰² Nowotwór piersi budzi chyba największy strach. W Stanach Zjednoczonych zapada rocznie na tę chorobę 180 tysięcy kobiet, 46 tysięcy z nich umiera. Trudno jest precyzyjnie określić przyczyny powstawania raka piersi, gdyż z chorobą tą można wiązać wiele czynników: wysokotłuszczową dietę, późną ciążę, wczesne pojawienie się pierwszej miesiączki, opóźnioną menopauzę, historię chorób w rodzinie, promieniowanie oraz oddziaływanie różnych substancji chemicznych itp. Natomiast czynnikiem wspólnym dla wszystkich przypadków może okazać się składowa genetyczna.

(Częściowym wytłumaczeniem wzrostu zapadalności na raka piersi w obecnych czasach może być fakt, że częstość występowania raka piersi jest proporcjonalna do liczby cykli menstruacyjnych. Niektórzy uczeni utrzymują, że ponieważ obecnie pierwsza miesiączka u kobiet pojawia się wcześniej niż w ubiegłym wieku i rodzą one mniej dzieci, rośnie liczba cykli menstruacyjnych w życiu kobiety. Konsekwencją tej sytuacji może być większa liczba przypadków raka piersi. Według danych Boyda Eatona z Uniwersytetu Emory, kobiety w Ameryce mają obecnie 3,5 raza więcej cykli miesięcznych niż ich poprzedniczki 10 tysięcy lat temu, ale też jest 3,5 raza więcej przypadków nowotworów piersi). "Discover", październik 1995.

W 1990 roku, dzięki wysiłkom międzynarodowej grupy uczonych, pojawiło się doniesienie o odkryciu w laboratorium pierwszego genu związanego z rakiem piersi. Został on zlokalizowany na 17 chromosomie i nazwany *BRCA1*. W rodzinach, w których występuje wysokie ryzyko nowotworu piersi, nosicielka genu *BRCA1* ma 85% szans na zapadnięcie na raka piersi ("Science News", 9 grudnia 1995, s. 395).

W roku 1995 znaleziono drugi gen, *BRCA2*, zlokalizowany na chromosomie 13. Uczeni z Instytutu Badań nad Rakiem w Sutton (Anglia) podkreślali, że 90 procent wszystkich dziedzicznych przypadków raka piersi można wiązać z obecnością jednego z tych dwóch genów.

Badacze zwracali jednak uwagę na to, że *BRCA1* jest bardzo długi, zawiera do 12 tysięcy par zasad, spośród których zidentyfikowano dotąd tylko 7 tysięcy.

W szczególności, obecność genów *BRCA1* i *BRCA2* wiązana jest z rakiem piersi u konkretnej grupy ludności: pochodzących głównie z Europy Wschodniej Żydów aszkenazyjskich, stanowiących niemal 90% sześćo-milionowej populacji Żydów amerykańskich. Oba geny mogą być odpowiedzialne za 25% wczesnych przypadków raka piersi w tej grupie ludności. Gen *BRCA1* jest dość duży i znaleziono już 125 możliwych jego mutacji. Gen *BRCA2* może zawierać ich jeszcze więcej.

uważanych obecnie za rodzaj zegara biologicznego. Przesławiając wskazówki tego zegara, być może uda się spowodować śmierć komórek nowotworowych.

Telomery: "bezpieczniki" nowotworu

Od samego początku badań prowadzonych nad komórką uczeni pragnęli wyjaśnić działanie tajemniczego zegara biologicznego, który wyznacza normalnej komórce czas śmierci i pozwala zrozumieć, dlaczego komórki nowotworowe są nieśmiertelne.

W ciągu ostatnich kilku lat poznano mechanizm działania owego zegara, co otworzyło zupełnie nowe perspektywy badawcze przed nauką XXI wieku.

Od lat sześćdziesiątych badacze wiedzieli, że hodowane *in vitro* komórki niemowląt dzielą się 80-90 razy, natomiast komórki pobrane od siedemdziesięciolatków podzielią się jeszcze co najwyżej 20-30 razy. Skoro w komórkę wbudowana jest bomba z mechanizmem zegarowym, to co stanowi zabezpieczenie tego mechanizmu?³⁰³ Dzisiaj już wiemy.

W latach siedemdziesiątych zauważono, że nasze chromosomy mają na końcach "czapeczki", które nazwano telomerami. Odgrywają one podobną rolę jak plastikowe końcówki zaciśnięte na końcach sznurówek, zapobiegające strzępieniu się. Jeśli telomery zostaną usunięte, chromosomy zaczynają się sklejać i komórka w końcu obumiera. W zdrowej komórce zabezpieczenie telomerowe staje się stopniowo coraz krótsze, aż wreszcie komórka "popelnia samobójstwo". Przepalenie się "bezpiecznika" oznacza koniec jej życia. Jednak pewne nienormalne komórki, jak obecnie wiemy, mają niezwykłą zdolność do zachowywania stałej długości swych telomerów. Takie komórki stają się nieśmiertelne. To one właśnie są komórkami nowotworowymi.

Bardziej szczegółowe badania telomerów wykazały, że tworzy je powtarzająca się wielokrotnie, nawet do 2000 razy, sekwencja TTAGGG...³⁰⁴ Odkryto, że im komórka starsza, tym krótsze są jej telomery. Podczas każdego podziału traci bowiem około 10-20 segmentów. Wysunięto zatem hipotezę, że kiedy - po wielu podziałach - bezpiecznik (telomer) staje się za krótki, komórka umiera.

W roku 1984 odkryto telomerazę. Enzym ten potrafi odwrócić ów proces i wydłużyć telomery, zapobiegając w ten sposób samounicestwieniu komórki. Jednakże w większości komórek organizmu telomeraza nie występuje.

W 1994 roku Christopher M. Counter, Silvia Bacchetti i ich współpracownicy z Uniwersytetu McMaster dokonali przełomowego odkrycia. Wykazali oni, że telomeraza występuje w komórkach wielu różnych nowotworów, w których stwierdzono mutację genetyczną umożliwiającą syntezę tego enzymu. To kolei chroni przed utratą telomerów, czyniąc komórki nieśmiertelnymi.

Odkrycia te pomogły postawić hipotezę roboczą dotyczącą procesów starzenia się, śmierci komórek i biologii nowotworów. Telomery działają jak zegar odmierzający czas starzenia się komórki aż do jej śmierci. Im krótsze telomery, tym starsza komórka. Komórki rakowe, w których proces skracania się telomerów został zatrzymany, gdyż potrafią one wytwarzać telomerazę,

³⁰³ Carol W. Greider, Elizabeth H. Blackburn: Telomery, telomeraza i rak, "Świat Nauki", kwiecień 1996, s. 37.

“zapomniały, jak się umiera”, według określenia Samuela Brodera z Narodowego Instytutu Raka.³⁰⁵

Odkrycie to otwiera zupełnie nowe możliwości rozwoju metod wykrywania i terapii nowotworów w XXI wieku. Jedną z nich może polegać na wykrywaniu telomerazy w tkankach organizmu. Ponieważ zdrowe komórki nie zawierają tego enzymu³⁰⁶, jego obecność może sygnalizować pojawienie się komórek rakowych. Inną możliwością jest neutralizacja telomerazy, tak by komórki nowotworowe zaczęły normalnie się starzeć. Leczenie tego typu byłoby skierowane jedynie na komórki rakowe, jako że zdrowe komórki nie zawierają w ogóle telomerazy. (Natomiast chemioterapia działa jak ogień armatni, toksyny niszczą zarówno komórki prawidłowe, jak i rakowe).

Nowotwory w roku 2020

Schorzeń nowotworowych, do których można zaliczyć co najmniej 200 jednostek chorobowych, po jednej na każdy rodzaj tkanki ludzkiego organizmu, nie uda się zupełnie zwalczyć przed 2020 rokiem. Jak twierdzi Richard Klausner z Narodowego Instytutu Raka: “Nigdy nie będzie jednego lekarstwa na raka”.³⁰⁷

Jednakże do 2020 roku naukowcy powinni dysponować niemal kompletnym katalogiem mutacji, z których każda może odgrywać rolę w etiologii któregoś z 200 rodzajów nowotworów.

To z kolei zaowocuje licznymi nowymi metodami leczenia i diagnostyki nowotworów, w tym strategiami atakowania molekularnych słabych punktów i wrażliwych stron raka.

Istnieje kilka nowych pomysłów wzbudzających wielkie zainteresowanie. Niektóre z nich powinny zacząć przynosić owoce jeszcze przed 2020 rokiem.

Pierwszy dotyczy sposobów wykrywania raka. Wyobraźmy sobie, że potrafimy wysledzić niewielką grupę komórek nowotworowych 10 lat przed utworzeniem przez nie guza. Doskonalone są obecnie niezwykle czułe testy (należy się spodziewać, że wkrótce staną się one dostępne), pozwalające wykryć niezmiernie małe ilości białka wytwarzanego przez zaledwie kilkaset komórek nowotworowych w miarę wzrostu guza i tworzenia się w nim naczyń krwionośnych. Białka te można wykryć w moczu i krwi. Lekarze będą również mogli bezpośrednio wykazać obecność genów powodujących nowotwory w naszym materiale genetycznym. Niemal połowa znanych rodzajów raka rozwija się w narządach wewnętrznych (płucach, okrężnicy, pęcherzu moczowym), gdzie często stwierdza się obecność zmutowanego genu *ras*. Opracowując proste testy (w przyszłości możliwe do zastosowania w domu) moczu i krwi na obecność wadliwych form tego genu, w większości przypadków będzie można określić początki procesu nowotworzenia na długo przed tym, zanim urośnie guz lub komórki rakowe zdążą się rozprzestrzenić w organizmie.

Drugie podejście wiąże się z wynajdywaniem naturalnych wrogów raka. Uczeni zaczynają rozumieć procesy zachodzące na poziomie molekularnym i decydujące o tym, że pewne produkty naturalne i witaminy chronią nas przed nowotworami. Wysokie stężenie genisteiny występującej w

³⁰⁴ *Ibidem*, s. 34.

³⁰⁵ “Time”, 25 kwietnia 1994, s. 58.

³⁰⁶ **Telomeraza** jest obecna m.in. w komórkach rozrodczych i komórkach macierzystych krwi (przyp. red.).

soi oraz kapuście, stałych składnikach diety Japończyków, powstrzymuje proces formowania się naczyń krwionośnych w guzach nowotworowych. (W moczu Japończyków stwierdza się 30 razy wyższe stężenie genisteiny niż u mieszkańców Zachodu). Wiadomo, że przeciwutleniacze obecne w pożywieniu (witaminy C i E, czerwony barwnik pomidorów, zwany likopenem, katechiny w jagodach i karotenoidy w marchwi), dzięki zdolności neutralizacji wolnych rodników, redukują szybkość pojawiania się mutacji w komórkach. Inne warzywa zawierają substancje umożliwiające syntezę enzymów chroniących przed rakiem (indole w kapuście, limonoidy w owocach cytrusowych czy izotiocyjaniiny w gorczycy).

Trzecie podejście polega na wzmacnianiu układu odpornościowego. Zwykle przeciwciała wytwarzane przez układ odpornościowy człowieka nie mają wystarczającej mocy, by zaatakować komórki raka. Można jednak stworzyć przeciwciała monoklonalne lub takie związki chemiczne, które specyficznie wiązałyby białka występujące na powierzchni komórek nowotworowych. Fala entuzjazmu towarzysząca początkowo idei zastosowania takich przeciwciał opadła, pozostawiając w środowisku naukowym poczucie wielkiego rozczarowania. Jednak Lloyd Old, były pracownik Instytutu Badań nad Rakiem Pamięci Sloana-Ketteringa w Nowym Jorku, twierdzi, że "pomysł pozostaje aktualny i w badaniach nad sposobami leczenia nowotworów za pomocą przeciwciał wciąż dokonuje się stały, choć powolny postęp".³⁰⁸

Czwarte podejście wiąże się z naprawą błędów genetycznych. Terapia genowa oferuje możliwość zastąpienia genów uszkodzonych, których działanie wywołuje procesy nowotworzenia, genami zdrowymi. Naukowcom udało się zatrzymać namnażanie komórek rakowych w hodowlach laboratoryjnych przez wstrzyknięcie prawidłowych wersji genu *p53*. Prowadzone są obecnie analogiczne próby na ludziach. Alternatywnym rozwiązaniem mogą stać się inhibitory, które blokowałyby wadliwe białka powstające z uszkodzonych genów. Na przykład białko będące produktem onkogenu *ras* może zostać zahamowane przez inhibitory transferazy farnesylowej.³⁰⁹

Podejście piąte koncentruje się wokół szczepionek przeciwko rakowi. Chociaż tę metodę walki z nowotworami podejmo-wano jako jedną z pierwszych i później porzucono, nowe zainteresowanie nią pojawiło się na fali rewolucji biomolekularnej. Nowoczesne techniki badawcze umożliwiają dokładne monitorowanie skuteczności poszczególnych szczepionek, co uprzednio było niemożliwe.³¹⁰

Rozważane w środowiskach lekarskich szóste podejście polega na odcięciu dopływu krwi do nowotworu. Aby guz przekroczył rozmiary ziarnka grochu, muszą wytworzyć się odżywiający go naczynia krwionośne i włosowate. Proces tworzenia nowych naczyń krwionośnych nazywa się angiogenezą. Strategia mająca na celu powstrzymanie rozwoju nowych naczyń polega na opracowaniu środków hamujących angiogenezę.³¹¹ Obecnie już 30 firm biotechnologicznych na świecie pracuje nad takimi specyfikami jak TNP-470. Niektóre z nich są teraz w stadium prób

³⁰⁷ "Time", wydanie specjalne, jesień 1996.

³⁰⁸ Lloyd J. Old: Immunoterapia nowotworów, "Świat Nauki", listopad 1996, s. 108.

³⁰⁹ Allen Oliff, Jackson B. Gibbs, Franek McCormick: Nowe cele molekularne, "Świat Nauki", listopad 1996, s. 119.

³¹⁰ Lloyd J. Old: Immunoterapia nowotworów, "Świat Nauki", listopad 1996, s. 113.

³¹¹ J. Folkman: Atak na układ krwionośny guza, "Świat Nauki", listopad 1996, s. 122.

klinicznych.

Jeszcze inna metoda walki zrazem bierze za cel telomerazę. Gdyby udało się zablokować jej działanie, komórki nowotworowe stałyby się na powrót śmiertelne.

Nikt nie wie, która z tych terapii okaże się najbardziej skuteczna w walce z rakiem. Istotne jest jednak to, że rewolucja bio-molekularna rozwiązała tajemnicę nowotworów oraz otworzyła widoki na nowe, obiecujące perspektywy walki z nimi. Niebawem z pewnością pojawią się rozwiązania, które zastąpią obecne, prymitywne metody, takie jak chemioterapia, chirurgia i napromieniowanie. Wielu naukowców wierzy, że jeszcze przed 2020 rokiem możliwe stanie się leczenie całych klas nowotworów.

Choroby dziedziczne: odwieczna plaga

Do roku 2020 przewrót w biologii molekularnej powinien pozwolić pokonać także inną grupę odwiecznych schorzeń: choroby o podłożu dziedzicznym.

Stephen Hawking, jeden z największych na świecie kosmologów, cierpi na chorobę zwaną ALS, stwardnienie zanikowe boczne (*sclerosis lateralis amyotrophica*), tę samą chorobę dziedziczną, która pozbawiła życia gracza bejsbolowego Lou Gehriga, senatora Jacoba Javitsa i aktora Davida Nivena. Choć umysł Hawkinga pozostaje tak bystry i przenikliwy jak zawsze, utracił on zupełnie władzę nad rękami, nogami językiem, nawet nad strunami głosowymi i bezradnie siedząc na wózku inwalidzkim, porozumiewa się ze światem dzięki syntetyzatorowi głosu. Hawking dokonuje wszystkich skomplikowanych przekształceń matematycznych jedynie w swojej głowie.

Jak świat światem, ludzkość gnębiły potworne defekty genetyczne w rodzaju ALS. Fryderyk Chopin cierpiał, być może, na mukowiscydozę, Henri de Toulouse-Lautrec na piknodyzostozę, Vincent van Gogh i król Jerzy III na porfirię przerywaną (powodującą ciężkie nawroty szaleństwa), kompozytor piosenek Woody Guthrie na płasawicę Huntingtona, a Nicolo Paganini na zespół Ehlersa-Danlosa.³¹²

Znanych jest około 5 tysięcy chorób genetycznych. Są wśród nich: dystrofia mięśniowa, hemofilia, mukowiscydoza, anemia sierpowata i choroba Taya-Sachsa. Choroby genetyczne zbierają szczególnie obfite żniwo wśród osób młodych.³¹³ Związana jest z nimi jedna piąta wszystkich zgonów wieku dziecięcego, połowa poronień i 80% przypadków upośledzenia umysłowego. Choroby genetyczne doświadczają około 15% populacji, ale jeśli wziąć pod uwagę choroby warunkowane poligenowo lub schorzenia, w których objawia się silnie składowa genetyczna (nowotwory, choroba Alzheimerera, cukrzyca, schorzenia sercowo-naczyniowe), to można je obarczyć odpowiedzialnością za 75% zgonów w Stanach Zjednoczonych.

Przez tysiące lat medycyna była bezradna wobec tych odwiecznych dolegliwości, dopiero medycyna molekularna daje nadzieje na nowe terapie i strategie zwalczania, a nawet wyleczenia ze schorzeń o podłożu genetycznym.

Jednakże wojna ta będzie trwać bez końca, bo nigdy nie ustanie walka między ewolucją (która w

³¹² "New York Times", 6 czerwca 1995, s. C3.

procesach doboru naturalnego stopniowo eliminuje uszkodzone geny) a mutacjami (które pojawiają się nieustannie, w wyniku przypadkowych błędów, promieniowania kosmicznego, działania trucizn, skażenia środowiska itp.). W każdym pokoleniu w DNA każdego z nas pojawia się kilkaset mutacji. Jeśli założymy, że mutacje szkodliwe stanowią niewielki ich procent, to i tak w nasz organizm wkradają się, powiedzmy, 2-3 złośliwe geny. Zatem z każdym pokoleniem ludzka pula genowa powiększa się nawet do 10 miliardów nowych szkodliwych genów. Toteż walka z chorobami o podłożu genetycznym nie zakończy się nigdy.³¹⁴

Choroby dziedziczne zmieniały bieg historii

Dopiero w ciągu mniej więcej ostatnich 10 lat, wraz z rozwojem biotechnologii, zaczęto częściowo rozumieć przyczyny chorób genetycznych na poziomie molekularnym. Niektóre choroby dziedziczne były jednak znane od tysiącleci. Na przykład opisy hemofilii, rzadkiej choroby krwi objawiającej się brakiem krzepliwości, można prześledzić aż do czasów biblijnych. Talmud dopuszcza zaniechanie obrzezania noworodka płci męskiej, jeśli u któregoś z jego rodzeństwa stwierdzono niemożliwe do opanowania krwawienia.³¹⁵ Już wtedy zdawano sobie sprawę z tego, że ułomność ta jest dziedziczna, przekazywana synom przez matkę. Choroby tego typu wpłynęły na losy narodów, co często wynikało z intensywnego "chowu wsobnego" w obrębie rodów panujących w Europie.

W XVIII wieku Jerzy III, król Anglii, cierpiał na okresowe silne ataki szaleństwa powodowane ostrymi nawrotami porfirii przerywanej. Prawdopodobnie podczas jednego z takich okresów demencji pierwszy minister Jego Królewskiej Mości, lord North, zaniedbał kolonie w Ameryce Północnej, przyczyniając się do wybuchu na tym obszarze rewolucji, która doprowadziła do powstania Stanów Zjednoczonych.³¹⁶ Sukcesorka Jerzego III, królowa Wiktoria, zasiadająca na tronie angielskim w wieku XIX, była nosicielką hemofilii. Kiedy większość z jej dziewięciu potomków zawarła związki małżeńskie, gen hemofilii rozprzestrzenił się wśród panujących dworów całej Europy, wywołując prawdziwe spustoszenie. (Podobnie jak Wiktoria, trzy z jej córek były nosicielkami choroby, syn Leopold zaś cierpiał na hemofilię). "Nasza biedna rodzina wydaje się przeklęta przez tę chorobę, najgorszą, jaką znam" - rozpaczała Wiktoria.³¹⁷ Gen hemofilii odziedziczyła po Wiktorii jej wnuczka, Aleksandra, która poślubiła rosyjskiego cara Mikołaja II. Ich syn, Aleksy, chorował na hemofilię. Dlatego właśnie Rasputin, pozbawiony wszelkich skrupułów, charyzmatyczny mnich, który stosując hipnozę, tamował krwawienia młodego carewicza, uzyskał tak ogromną władzę nad rodziną panującą. Niektórzy historycy twierdzą, że to właśnie Rasputin sparaliżował dwór carski w Rosji, spowodował zahamowanie niezbędnych reform i przez to

³¹³ *Ibidem*, s. 30.

³¹⁴ Christopher Wills: *Exons, Introns, and Talking Genes*. Basic Books, Nowy Jork 1991, s. 310.

³¹⁵ Lyon, Gorner: *Altered Fates*, s. 38.

³¹⁶ Steve Jones: *The Language of Genes*. Anchor Books, Nowy Jork 1993, s. 73; "New York Times", 6 czerwca 1995, s. C3.

³¹⁷ Jones: *The Language of Genes*, s. 73. Biorąc pod uwagę wszystkich żeńskich potomków królowej Wiktorii, nosicielkami mogło być aż dwadzieścia kobiet, a wśród potomków męskich dziesięciu cierpiało na hemofilię. (*The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution*. Pod red. Steve'a Jonesa, Roberta Martina, Davida Pilbeama, Sarah

przyczynił się do wybuchu rewolucji bolszewickiej 1917 roku.³¹⁸ Steve Jones, genetyk z University College w Londynie, skwitował następująco tę sytuację: "To zdumiewające, ale wygląda na to, że zarówno rewolucja w Ameryce, jak i w Rosji, były rezultatem nieprawidłowości w królewskim DNA".³¹⁹

Wiele chorób o podłożu genetycznym ma przerażające objawy, często prowadzące do powolnej, poprzedzonej nieludzkim cierpieniem śmierci. Niektóre są wręcz szokujące, na przykład zespół Lescha-Nyhana, w samych tylko Stanach Zjednoczonych dotykający około 2000 osób.³²⁰ W chorobie tej młodzi pacjenci dosłownie odgryzają sobie palce w niekontrolowanych aktach samouszkodzeń. Inne choroby genetyczne mogą prowadzić do potwornych zniekształceń. Na przykład ofiary neuro-fibromatozy (nerwiakowłókniakowatość, choroba Recklinghausena), która pojawia się raz na 4000 urodzeń, mają skórę pokrytą mnóstwem małych brązowych guzów. (Najstłynniejszą chyba ofiarą tej choroby był żyjący pod koniec XIX wieku John Merrick, człowiek-słoń).³²¹

Historycznie rzecz ujmując, spośród chorób dziedzicznych największe przerażenie wywoływała płasawica Huntingtona, którą przez wieki łączono z czarnoksięstwem i kultem szatana (słynny przypadek czarownicy z Groton z 1671 roku). Krewni chorych byli traktowani bez żadnej litości. Zamykano ich w odosobnieniu, traktując podobnie jak trędowatych. Pacjenci z płasawica Huntingtona tracą stopniowo władzę nad mięśniami i umysłem. Ciałem często wstrząsają gwałtowne konwulsje, chory wykonuje dziwaczne, jakby taneczne ruchy, a skóra pokrywa się ciemnymi, z czasem czerniejącymi plamami. Wielu chorych umiera z powodu kłopotów z oddychaniem albo z głodu. Drgania ciała chorego stają się tak gwałtowne, że nie sposób go nakarmić. W USA chorobą tą dotkniętych jest około 30 tysięcy osób, a u 150 tysięcy dalszych występuje ryzyko zachorowania.

Niektóre choroby genetyczne, na przykład dystrofia mięśniowa, stały się powszechnie znane dzięki prowadzonym przez telewizję zbiórkom pieniędzy dla ich ofiar.

Wiele chorób o podłożu genetycznym jest *związanych* z poszczególnymi rasami i grupami etnicznymi:

Mukowiscydoza (*cystic fibrosis*, CF). Najczęściej występuje wśród przedstawicieli rasy białej.³²² Stanowi potencjalnie bardzo powszechny problem, gdyż jedna na 25 osób z tej grupy jest nosicielem mukowiscydozy. W USA i Kanadzie na 1800 białych mieszkańców rodzi się jedno

Bunney. Cambridge University Press, Cambridge 1992, s. 260).

³¹⁸ "Science News", 9 grudnia 1995, s. 394.

³¹⁹ Jones: *The Language of Genes*, s. 73.

³²⁰ Lyon, Gomer: *Altered Fates*, s. 86.

³²¹ Merrick (są tacy, którzy twierdzą, że w rzeczywistości mógł on cierpieć na schorzenie pokrewne, słonowaczną brodawkowatą) został uwieczniony w sztuce wystawianej na Broadwayu oraz w filmie. Michael Jackson, zaintrygowany tym przypadkiem, usiłował nawet kupić szkielet Merricka (Lyon, Gomer: *Altered Fates*, s. 337; Lee: *The Human Genome Project*, s. 195).

³²² Jest niewykluczone, że wśród twoich znajomych są utajeni nosiciele mukowiscydozy. Ponieważ u każdego przedstawiciela rasy białej istnieje prawdopodobieństwo nosicielstwa równe 1/25, szansa znalezienia tego genu u obojga rodziców (z tej grupy ludności) wynosi 1/25 x 1/25. Wśród ich potomstwa 1/4 osobników będzie miała recesywne formy obu genów. Tak więc częstość występowania mukowiscydozy jest równa 1/25 x 1/25 x 1/4, czyli 1/2500, co z grubsza jest właśnie częstotliwością występowania tej choroby u przedstawicieli rasy białej w Stanach Zjednoczonych.

dziecko obarczone tą chorobą, a cierpi na nią 35 tysięcy młodych ludzi. W Stanach Zjednoczonych notuje się corocznie około tysiąca nowych przypadków.

Mukowiscydoza jest koszmarem rodziców: śluz w płucach dziecka ulega zagęszczeniu; płuca stają się więc niewydolne, a przewody w trzustce zatkane, co powoduje zaburzenia trawienia.³²³ Jedna z najwcześniejszych wzmianek o mukowiscydozie pochodzi ze średniowiecza. Wśród mieszkańców północnej Europy popularne było wówczas powiedzenie: "Biada temu dziecku, którego czoło przy pocałunku pozostawia słony smak. Padł na nie urok i wkrótce musi umrzeć".³²⁴

Zespół Taya-Sachsa (idiotyizm amarotyczny). Okazuje się, na szczęście, że badania przesiewowe prowadzone pod kątem określonych chorób mogą ograniczyć rozprzestrzenianie się defektów genetycznych nawet bez pomocy terapii genowej. Zespół Taya-Sachsa jest tutaj dobrym przykładem. Choroba ta występuje głównie u Żydów pochodzących z Europy wschodniej, wśród których pojawia się raz na 3600 urodzeń. Szacuje się, że we wspomnianej populacji jedna osoba na 30 jest nosicielem uszkodzonego genu.³²⁵ Choroba Taya-Sachsa atakuje układ nerwowy. Dziecko rodzi się normalne, ale wkrótce pojawia się postępujące upośledzenie umysłowe, ślepotą, utrata władzy nad mięśniami, a wreszcie śmierć około 4 roku życia.

Anemia sierpowata. W samych tylko Stanach Zjednoczonych chorobę tę stwierdza się rocznie u 4 tysięcy dzieci, głównie Afroamerykanów. Wśród Murzynów na schorzenie to cierpi jedna osoba na 500, ale szacuje się, że nosiciele stanowią 10% czarnej populacji. W Afryce co roku rodzi się 120 tysięcy dzieci z anemią sierpowatą³²⁶. W Afryce Południowej 40% mieszkańców jest nosicielami tego dziedzicznego schorzenia.

Do roku 2010: polowanie na geny

Gdy pierwsza cząsteczka ludzkiego DNA zostanie całkowicie rozszyfrowana, gdzieś około 2005 roku, uczeni będą dysponować rozległą mapą, na której umieszczą nasze geny. Do roku 2010 powinniśmy dysponować już spisem prawie wszystkich 5 tysięcy chorób genetycznych.

Poszukiwania niektórych genów mogą trwać bardzo długo.³²⁷ Francis Collins ilustruje to następującą analogią. Poszukiwanie danego genu w ciemno, bez żadnych wskazówek, jest jak "szukanie przepalanej żarówki w jakimś domu między wschodnim a zachodnim wybrzeżem Ameryki, bez informacji, w którym stanie znajduje się budynek, nie wspominając nawet o nazwie miasta czy ulicy". Wyobraźmy sobie na chwilę, że zbieramy wszystkie książki telefoniczne w Stanach Zjednoczonych i szukamy w nich (w tekście składającym się z 3 miliardów liter) jednego przekręconego nazwiska. Zgromadzenie pełnej kolekcji wszystkich książek telefonicznych dla całego kraju to niewielki krok na drodze do odnalezienia tej jednej, błędnie wydrukowanej litery.

Na razie rewolucja, jaka dokonała się w biologii molekularnej, ujawniła pewne niespodzianki

³²³ Wills: *Exons, Introns, and Talking Genes*, s. 195; Lyon, Gomer: *Altered Fates*, s. 384; Thomas F. Lee: *Gene Future*. Plenum Press, Nowy Jork 1993, s. 89.

³²⁴ Michael J. Welsh, Alan E. Smith: Mukowiscydoza, "Świat Nauki", luty 1996, s. 30.

³²⁵ Lee: *The Human Genome Project*, s. 263; Lee: *Gene Future*, s. 90; Lyon, Gomer: *Altered Fates*, s. 3, 215.

³²⁶ Wills: *Exons, Introns, and Talking Genes*, s. 216; Lee: *The Human Genome Project*, s. 93; Lee: *Gene Future*, s. 96.

³²⁷ "Time", 17 stycznia 1994, s. 48.

podczas rozszyfrowywania tajemnic chorób dziedzicznych. Okazało się, że uszkodzone geny są często nadzwyczaj długie, co znacznie zwiększa prawdopodobieństwo pojawienia się w nich mutacji. W wielu przypadkach choroba genetyczna związana jest z pojedynczym, punktowym błędem. W innych chorobę wywołują dziwaczne powtórzenia pewnych fragmentów informacji genetycznej.

Poniżej przedstawiono krótki wybór zidentyfikowanych dotychczas błędów genetycznych. Jego analiza pozwala uzmysłwić sobie, że nawet najdrobniejsze przekłamanie w ludzkim genomie może stać się przyczyną nieopisanych cierpień.

Choroba Huntingtona. Znajdujący się na krótszym ramieniu chromosomu 4 gen Huntingtona, *IT-15*, ma długość 200 tysięcy par zasad. Uczestniczy w produkcji dwóch neuro-transmitterów, acetylocholino i kwasu gamma-aminomasłowego. U ludzi zdrowych sekwencja trójki nukleotydów CAG powtarza się w tym genie 11 do 34 razy. U pacjentów z pląsawicą Huntingtona liczba powtórzeń CAG może przekraczać 80, co powoduje drastyczny spadek zdolności syntezy obu wspomnianych związków. Im dłuższa jest powtarzana sekwencja (ponad 40 razy), tym cięższy przebieg choroby.

Mukowiscydoza. Gen odpowiedzialny za to schorzenie zbudowany jest z 250 tysięcy nukleotydów. Zidentyfikowali go w 1989 roku Francis Collins i Lap-Chee Tsui na chromosomie 7. Chorobę może wywoływać brak zaledwie 3 nukleotydów, niesłuchanie drobnego ułamka całości. Mutacja polega na następującej delecji nukleotydów:³²⁸

ATCTTT -> ATT

To z kolei staje się przyczyną mukowiscydozy, poprzez usunięcie zaledwie jednego aminokwasu (fenyloalaniny) spośród 1480 aminokwasów kodowanych przez zdrowy gen.³²⁹

Zespół Lescha-Nyhana. Chorobę tę powoduje pojedyncza mutacja w ważnym genie leżącym na chromosomie X i rozciągającym się na 50 tysięcy nukleotydów.³³⁰ W jej wyniku komórka nie produkuje enzymu HGPRT (fosforybozylotransferazy hypoksantynowo-guaninowej).

Dystrofia mięśniowa typu Duchenne'a. Gen odpowiedzialny za chorobę Duchenne'a wyizolowano ostatecznie w 1986 roku. Koduje on białko zwane dystrofiną.³³¹ Należy do najdłuższych dotąd poznanych genów, ma bowiem 2,5 miliona nukleotydów.³³² Tym właśnie naukowcy tłumaczą wysoką częstość jego mutacji.³³³

Chociaż już przed rokiem 2010 powinniśmy dysponować w miarę pełną listą mutacji leżących u podstaw tysięcy chorób genetycznych, odpowiednie terapie zostaną opracowane być może dopiero w 2020 roku lub później.

"W przypadku chorób genetycznych okres pomiędzy nabyciem umiejętności zdiagnozowania a możliwością leczenia będzie trwał jakieś 5-20 lat" - uważa Leroy Hood z Uniwersytetu Waszyngtońskiego.

³²⁸ Lyon, Gorner: *Altered Fates*, s. 383, 398, 401.

³²⁹ Michael J. Welsh, Alan E. Smith: Mukowiscydoza, "Świat Nauki", luty 1996, s. 33.

³³⁰ Lyon, Gorner: *Altered Fates*, s. 92; Wills: *Exons, Introns, and Talking Genes*, s. 63.

³³¹ Lyon, Gorner: *Altered Fates*, s. 355.

³³² Wills: *Exons, Introns, and Talking Genes*, s. 192.

³³³ Lyon, Gorner: *Altered Fates*, s. 358.

Jak więc wykorzystać zebrane informacje, zanim nauczymy się stosować terapie genowe? Nancy Wexler, która brała udział w wyjaśnieniu przyczyn płasawicy Huntingtona, zauważa, że niektórzy pacjenci, dowiedziawszy się o swojej nieuleczalnej chorobie genetycznej, "lądują w szpitalu nie z powodu samej choroby, lecz depresji".³³⁴

W ostatecznym rachunku, najbardziej obiecująca strategia walki z chorobami genetycznymi to bezpośrednia interwencja metodami terapii genowej.

Pierwsza linia frontu: SCID

Rzecznikiem terapii genowej jest W. French Anderson z Uniwersytetu Południowej Kalifornii, jeden z pionierów tej metody. Anderson zajmuje się rzadko spotykanym schorzeniem dziedzicznym, zwanym SCID (od ang.: *severe combined immuno-deficiency*, ciężki złożony niedobór odporności), które prasa ochrzciła mianem "zespołu chłopca z bańki". Najstraszniejszym przypadkiem tej choroby był David, chłopiec z wrodzoną anomalią układu odpornościowego, którego mogło zabić nawet zwykłe przeziębienie. David spędził swe krótkie życie uwięziony w sterylnej plastikowej bańce. Nawet matka mogła go przytulić tylko po włożeniu specjalnych gumowych rękawic. Dzieci z zespołem SCID, pozbawione zdrowych białych krwinek, które potrafią zwalczać zarazki, umierają bardzo wcześnie. David, zanim zmarł w 1984 roku, stał się symbolem ofiar straszliwych chorób dziedzicznych trapiących ludzkość.³³⁵

Leczenie uszkodzonych genów nie jest prostym zadaniem, wszak ludzkie ciało składa się ze 100 bilionów komórek. Jednakże miliony lat ewolucji wykształciły być może najsprawniejszy "wektor", umożliwiający wprowadzanie do tych komórek zmian: wirusa. Naukowcy potrafią ułożyć prawidłowy gen w zneutralizowanym (aby nie wywoływał choroby) wirusie, którym następnie chory zostaje zainfekowany.

Eksperymenty prowadzone przez Andersona mogą okazać się prototypem terapii genowej roku 2020. Najpierw pobiera on od młodych pacjentów krew i *zakazają* zmodyfikowanym wirusem. Kiedy wirus po wnikięciu do komórek krwi wprowadzi do nich prawidłowy gen, krew podawana jest z powrotem do organizmu chorego. Pierwszą pacjentką poddaną terapii genowej była czteroletnia dziewczynka, Ashanthi DeSilva. W roku 1995 grupa Andersona ogłosiła, że udało się naprawić mechanizmy genetyczne 50% białych krwinek dziecka.

Jednakże po siedmiu latach intensywnych doświadczeń nad terapią genową wiele jej wyników ciągle rozczarowuje. Frustrujące jest na przykład to, że czasami układ odpornościowy atakuje wirusa oraz zmodyfikowane komórki, nie pozwalając na rozprzestrzenienie się prawidłowych genów w organizmie. Cierpki raport Narodowych Instytutów Zdrowia zachwiał podstawami tej dziedziny w 1995 roku. Stwierdzono w nim, że terapię genową przereklamowano i że większość eksperymentów nie przyniosła jakiegokolwiek znaczącego postępu w medycynie.

David Rimoin z Centrum Medycznego Cedars-Sinai podziela sceptycyzm zawarty w raporcie i stwierdza: "Potrzebna jest inteligentna bomba, która wprowadziłaby DNA we właściwe miejsce,

³³⁴ "Time", wydanie specjalne, jesień 1996, s. 29.

wyposażona w inteligentny detonator, który odpaliłby ją we właściwym czasie. W większości przypadków nie dysponujemy ani jednym, ani drugim".³³⁶

Na przykład u poddawanych próbom terapii genowej pacjentów z mukowiscydozą komplikacje związane były z odrzuceniem przez układ odpornościowy wprowadzonego wirusa, "inteligentnej bomby" niosącej ładunek zdrowych genów.

Raport Narodowych Instytutów Zdrowia zawierał trzeźwą ocenę terapii genowej, nie zadał jej jednak śmiertelnego ciosu. To prawda, że wyniki eksperymentów zostały rozdmuchane, a same doświadczenia nie przyniosły wielkiego postępu, ale nie stłumiło to wcale optymizmu ani badaczy, ani ofiar chorób genetycznych.

"To jest nowa dziedzina - mówi Francis Collins. - Jak można mieć za złe dziecku w kołysce, że nie recytuje Szekspira? Ludzie, dajcie nam trochę czasu!".³³⁷

Od opublikowania raportu w 1995 roku odnotowano już kilka cząstkowych sukcesów. Jak wspomniano, grupa z Uniwersytetu Teksaskiego doniosła o cofaniu się lub wręcz zaniku guzów pod wpływem terapii genem *p53*.

Współpracownik Andersona, Michael Blaese z Narodowych Instytutów Zdrowia, podkreśla, że postęp w dziedzinie terapii genowej można przyrównać do pierwszych lotów braci Wright. Choć znaleźli się tacy, którzy wyśmiewali dziwne eksperymenty prowadzone przez tych wytwórców rowerów, sposób rozumowania i podstawy naukowe, na których bracia Wright opierali swoje doświadczenia, były słuszne i w ciągu kilku dziesięcioleci powietrze wypełniło się latającymi maszynami.³³⁸

Okres 2020-2050: choroby poligenowe

Intensywny postęp, jaki dokona się do roku 2020 w dziedzinie leczenia chorób genetycznych, jest w pewnym sensie złudny. Wykładniczy wzrost naszej wiedzy na temat genomu człowieka zawdzięczamy bowiem skomputeryzowaniu i automatyzacji procesu odczytywania sekwencji DNA.

Postęp po roku 2020 stanie się trudniejszy, gdyż będziemy zmuszeni zmierzyć się z następną klasą chorób: schorzeniami poligenowymi, wywoływanymi działaniem więcej niż jednego genu. Leczenie chorób poligenowych może okazać się niemożliwe w dającej się przewidzieć przyszłości, jako że ich przyczyny tkwią w interakcjach nieznannej liczby genów. W związku z tym nie uda się łatwo skomputeryzować technik izolowania genów odgrywających główną rolę w chorobach poligenowych. Ponadto może się okazać, że ekspresja tych genów wyzwalana jest przez jakieś nieznanne czynniki i zmiany w środowisku.

Jedną z takich chorób jest powoli wyniszczająca umysł i ducha schizofrenia, pozostawiająca pacjenta na łasce bezcielesnych głosów. Magazyn "Nature" nazwał ją "bodajże najgorszą chorobą dotykającą ludzkość". Na schorzenie to cierpi 1% ludzi, ale aż 30% wszystkich łóżek szpitalnych w

³³⁵ Lee: *Gene Future*, s. 182.

³³⁶ "Time", wydanie specjalne, jesień 1996, s. 29

³³⁷ Francis Collins, wywiad z autorem, 7 maja 1996.

³³⁸ Michael Blaese, wywiad z autorem, 7 maja 1996.

USA zajmują schizofrenicy, więcej niż pacjenci chorujący na jakąkolwiek inną chorobę.³³⁹

Istnieje potwierdzony związek schizofrenii z genami. Jednakże więź ta jest słaba: jeśli jedno z dwojga bliźniąt jednojajowych zapada na schizofrenię, to z pięćdziesięcioprocentowym prawdopodobieństwem choroba ujawni się również u drugiego z tych bliźniąt. Oznacza to istnienie niewątpliwej składowej genetycznej. Ale fakt, że nie ma stuprocentowej korelacji, wskazuje, iż rolę odgrywa tu prawdopodobnie wiele genów, spośród których część być może ulega ekspresji dopiero pod wpływem warunków środowiska.

Istnieją poważne przesłanki pozwalające domniemywać, że przynajmniej jeden z wielu genów schizofrenii leży na chromosomie 5. W 1988 roku badacze kanadyjscy odkryli, że w klanie rodzinnym liczącym 104 członków było 39 schizofreników, a 15 kolejnych osób cierpiało na inne zaburzenia umysłowe. Szansa na przypadkowy charakter tego zjawiska wynosi 1 do 50 milionów. Jednakże, kiedy inne badania nie potwierdziły żadnego związku tej choroby z chromosomem 5, nadzieje na to, że znaleziono jedyny gen leżący u podstaw schizofrenii, zostały pogrzebane.³⁴⁰ W 1995 roku na podstawie innej serii badań poczyniono ciekawe ustalenia pozwalające łączyć tę chorobę z chromosomem 6, z obszarem określanym jako 6p21 do 6p24³⁴¹

Walter Gilbert uważa, że przed 2010 rokiem odkryjemy wiele genów mających związek ze schizofrenią.³⁴² Do roku 2020 prawdopodobnie będzie już wiadomo, jak geny te współdziałają ze sobą oraz jaki jest wpływ otoczenia na ich ekspresję. Równie prawdopodobne jest jednak *to*, że opracowanie metod leczenia schizofrenii pozostanie pieśnią odległej przyszłości.

Okres 2020-2050: terapia komórek linii płciowej?

Jak dotychczas, szum wokół naprawy naszych genów dotyczył przede wszystkim terapii genetycznej somatycznych komórek organizmu, tzn. komórek, które nie biorą udziału w rozmnażaniu. Wraz ze śmiercią pacjenta giną też jego naprawione geny. Bardziej kontrowersyjna jest terapia genowa komórek linii płciowej, czyli manipulacja DNA komórek rozrodczych. W zasadzie ten typ leczenia mógłby wyplenić choroby genetyczne wśród przyszłych pokoleń. Gdyby nam się powiodło, nasi potomkowie nie musieliby już obawiać się chorób genetycznych. Ale terapia taka, związana z majstrowaniem w DNA całej ludzkiej rasy, podnosi wiele poważnych kwestii natury etycznej, z którymi zmierzyć się w rozdziale dwunastym.

Uczeni spodziewają się dokonać pewnego dnia odkryć, które sprawią, że terapia komórek linii płciowej stanie się pełnoprawną i dostępną techniką. Badacze już teraz potrafią przeprowadzać proste manipulacje na DNA komórek rozrodczych zwierząt i raczej nie widać żadnych trudności, które by nie pozwoliły zastosować tej techniki u człowieka. Ale jest oczywiste, że metody te mogą być użyte zarówno w sposób destrukcyjny, jak i dobroczynny.

³³⁹ "New York Times", 31 października 1995, s. C3. W latach 60. na podstawie błędnego mniemania, że schizofreników można "wyleczyć" z ich wewnętrznych głosów za pomocą środków psychotropowych i neuroleptyków (Thorazyna), wypisano z państwowych szpitali setki i tysiące chorych. Wciąż zatopieni w chorobliwych wyobrażeniach, zasilili oni ostatecznie grupy bezdomnych koczujących w najgorszych dzielnicach miast (Lyon, Gorner: *Altered Fates*, s. 467).

³⁴⁰ Lyon, Gorner: *Altered Fates*, s. 468; Wills: *Exons, Introns, and Talking Genes*, s. 259.

³⁴¹ "New York Times", 31 października 1995, s. C3.

³⁴² Wywiad z Walterem Gilbertem.

MEDYCYNA MOLEKULARNA I ZJAWISKA PSYCHOSOMATYCZNE

Wychodzę z założenia, że wszystkie choroby człowieka mają podłoże genetyczne.

PAUL BERG, laureat Nagrody Nobla

Moja szklana kula mówi mi, że najistotniejsze w ciągu następnych 10-20 lat będzie zrozumienie zasad działania układu odpornościowego oraz możliwości genetycznego nim manipulowania.

STEVEN ROSENBERG, naczelny chirurg Narodowych Instytutów Zdrowia

W 1994 roku angielska prasa bulwarowa krzyczała wielkimi tytułami: "Żarłoczne zarazki zjadły mojego brata w ciągu 18 godzin!". Makabryczne zdjęcia ludzkich twarzy nadgryzionych przez hordy morderczych mikroobów opanowały pierwsze strony gazet. W roku następnym nagłówki gazet straszyły zatrważającymi wieściami o pojawieniu się wirusa Ebola w Zairze. Ekipy ratunkowe z całego świata ruszyły natychmiast do zairskich wiosek, aby powstrzymać szerzenie się tej tajemniczej, nieuleczalnej choroby, która zabija 90% swoich ofiar. Fakt, że Ebola nie rozprzestrzenia się zbyt szybko (ofiary umierają tak gwałtownie, że nie mają czasu na rozniesienie choroby), nie powstrzymał rzesz żądnych sensacji od rozchwytywania wszelkich książek na ten temat, dzięki czemu kilka z nich znalazło się na listach bestsellerów.

Dwudziestowieczną medycynę najwyraźniej zaskoczyły straszne, "mięsożerne" bakterie, wirus Ebola, stale wzrastająca liczba chorych na AIDS, choroba szalonych krów, śmierć dzieci zarażonych *E. coli* 0157:H7 oraz pojawiające się fale infekcji bakteryjnych, wywoływanych przez drobnoustroje nie poddające się żadnym ze znanych antybiotyków.

W ciągu ostatnich pięćdziesięciu lat medycyna odniosła tak niezwykle sukcesy, że czujność lekarzy została uśpiona. Sądziła ona, że wiele chorób zakaźnych zostało zwalczonych na zawsze, a tymczasem pojawiły się nowe śmiertelne szczepy tych samych zarazków, zagrażające ludzkości.

W 1969 roku naczelny lekarz Stanów Zjednoczonych, William H. Stewart, uroczyście oświadczył, że nadszedł czas, by zamknąć rozdział chorób zakaźnych".³⁴³ Natchnieni jego słowami futurologowie przepowiadali świat wolny od infekcji w XXI wieku. Lecz w rzeczywistości dzieje się inaczej - następuje przykry powrót średniowiecznego bestiarium mikroobów.

Lekarze nie zdawali sobie w pełni sprawy z tego, że bakterie i wirusy ulegają ustawicznym mutacjom i podlegają ewolucji, przebiegającej czasami miliony razy szybciej niż ewolucja

³⁴³ Randolph M. Nesse, George C. Williams: *Why We Get Sick* Random House, Nowy Jork 1994, s. 52; Laurie Garrett:

człowieka. Dzięki temu mikroorganizmy obchodzą i pokonują nasze najlepsze nawet zabezpieczenia. Pomimo wysiłków współczesnej medycyny choroby zakaźne, które pojawiły się na Ziemi miliardy lat przed człowiekiem, pozostaną na niej zapewne przez kilka dalszych miliardów lat.

Choć nagłówki gazet ostrzegają nas przed nieuleczalnymi, odpornymi na medyczne środki obrony chorobami, sedno sprawy pozostaje ukryte: w odwiecznej, nieustającej walce z nimi dysponujemy nową bronią. Jest nią dziedzina rodząca się na styku przewrotów w informatyce, mechanice kwantowej i badaniach nad DNA - medycyna molekularna, nowa gałąź nauki, która zaproponuje nam nowe sposoby walki ze zjadliwymi chorobami zakaźnymi w XXI wieku.

Już teraz, dzięki badaniom prowadzonym za pomocą komputerów i rzeczywistości wirtualnej, powstają nowe lekarstwa o działaniu skierowanym przeciwko molekularnym słabościom wirusów. Głównym celem zmasowanego ataku medycyny molekularnej jest wirus HIV. W poszukiwaniu jego słabych punktów rozpracowano go kawałek po kawałku, białko po białku, niemalże atom po atomie. Dzięki temu, po raz pierwszy w historii, uczeni mają nadzieję na znalezienie lekarstwa na HIV.

Skoncentrowany atak na tego wirusa jest pierwszym z wyzwania, które podejmie medycyna XXI wieku.

Do roku 2020 lekarze będą dysponowali obszernymi katalogami genomów setek wirusów i bakterii, jak również pełnymi osobistymi sekwencjami DNA ludzi. Po raz pierwszy w historii będziemy mogli uzyskać wgląd w mechanizmy wnikania czynników chorobotwórczych do naszych organizmów, rozwoju chorób oraz spustoszeń, jakich dokonują.

Medycyna molekularna w roku 2020: eliminacja zabójczych wirusów

Jednym z zadań Centrum Zwalczenia Chorób w Atlancie oraz pilnie strzeżonego Amerykańskiego Wojskowego Instytutu Badawczego Chorób Zakaźnych w Fort Detrick, we Frederick w stanie Maryland, jest kontrola rozprzestrzeniania się wirusów, "największego zagrożenia dla naszego gatunku".³⁴⁴ Wybuch epidemii "wirusa dnia Sądu Ostatecznego", takiego jak pojawiające się znikąd wirusy HIV czy Ebola, może zagrozić istnieniu ludzkości.

Jednym z największych zabójców w historii ludzkości był wirus czarnej ospy. Został on przeniesiony ze zwierząt na człowieka prawdopodobnie około 10 tysięcy lat temu i od tego czasu stanowił dla nas śmiertelne zagrożenie. W IV wieku p.n.e. zdziesiątkował armię Aleksandra Wielkiego. Zabił cesarza Marka Aureliusza. Niszczył całe cywilizacje i obalał wielkie mocarstwa.³⁴⁵ Jeszcze pod koniec lat sześćdziesiątych naszego stulecia na ospę chorowało na świecie 10 milionów ludzi i co roku ponad 2 miliony umierały na tę chorobę.

The *Corning Plague*. Pengu-in Books, Nowy Jork 1994, s. 33.

³⁴⁴ Viruses: *The Greatest Threat to the Survival of Our Species*. Pangea Digital Pictures, IVN Communications, we współpracy z magazynem "Disco-ver".

³⁴⁵ Mumia faraona Ramzesa, co do którego istnieją przypuszczenia, że właśnie on zetknął się z Mojżeszem i wypędził Żydów z Egiptu, wydaje się zawierać ślady wskazujące, iż faraon zmarł na ospę (Arnold J. Levine: *Viruses*. Scientific American Books, Nowy Jork 1992, s. 57).

Ale w 1966 roku Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) Narodów Zjednoczonych rozpoczęła zakrojony na wielką skalę program szczepień przeciwko ospie, obejmujący 31 krajów. W miarę jak liczba przypadków ospy gwałtownie spadała, rwał się cykl życiowy wirusa (zakaza on tylko człowieka). Przestały pojawiać się doniesienia o nowych zachorowaniach i uznano, że łańcuch infekcji został ostatecznie przerwany. Ósmego maja 1980 roku oficjalnie ogłoszono całkowitą eliminację wirusa ospy.³⁴⁶

Dzisiaj istnieją na Ziemi tylko dwie fiołki zawierające śmiertelny wirus: jedna jest przetrzymywana w Atlancie, w najpilniej strzeżonym skrzydle Centrum Zwalczenia Chorób w pokoju 318B, druga znajduje się w odległości 8000 kilometrów, w Rosji, w Centrum Badawczym Wirusologii i Biotechnologii w Kokcewie, koło Nowosybirsk. W czerwcu 1999 roku naukowcy z obu ośrodków mieli jednocześnie podgrzać próbki do temperatury 120°C i w ten sposób definitywnie unicestwić ostatnie wirusy ospy istniejące na Ziemi.³⁴⁷

Ta spektakularna, uwieńczona sukcesem kampania nadaje ton wielu wypowiedziom dotyczącym spraw zdrowia publicznego w XXI wieku, kiedy spodziewamy się opanować i wyćpić na zawsze niektóre inne choroby. Przed rokiem 2020 w pilnie strzeżonym skrzydle Centrum Zwalczenia Chorób w Atlancie znajdują się fiołki zawierające między innymi wirusa polio (wywołującego chorobę Heinego-Medina) i prątki trądu, chorób, które wedle prognoz Światowej Organizacji Zdrowia zostaną wyćpione mniej więcej do roku 2000. Uczni spodziewają się również, że niewiele później zostanie wyeliminowana odra. Spośród innych chorób, które powinny także znaleźć się na tej liście, można wymienić tężec noworodków, zakażenie przez nicienie z rodzaju *Dracunculoidea*, chorobę Chagasa i onchocerkozę.³⁴⁸ Większe trudności sprawiają gruźlica i malaria, choć i z nimi będzie można sobie wreszcie poradzić.

Przed rokiem 2020 w budynku nr 15, leżącym niedaleko pokoju 318B, znajdzie się katalog chorób będących największymi zabójcami w historii ludzkości. Będzie tu także ceta śmierci. Znajdą się w niej ostatnie próbki zawierające mikroby, które wywołują najstraszniejsze choroby. W przyszłości próbki zostaną podgrzane do bardzo wysokiej temperatury. Aby zapobiec jakiegokolwiek możliwości wymknięcia się któregoś z mikrobow, pokoje te są pilnie strzeżone, objęte tak zwanym czwartym stopniem bezpieczeństwa biologicznego (BSL4 -*BioSafety Level 4*). Czasem nazywa się je "gorącą strefą" lub "laboratoriami niebieskich kombinezonów". W salach utrzymywane jest stałe podciśnienie, tak że powietrze napływa raczej do wnętrza, niż wydostaje się na zewnątrz, co zapobiega wydostawaniu się zarazków. Przechowywane są tu wirusy tak niebezpieczne, że przed wejściem do laboratorium pracownicy ubierają się, jakby mieli odbyć

³⁴⁶ "The World Paper", maj 1996, s. 1. Ponieważ składający się z około 190 genów genom wirusa ospy został całkowicie odcodowany na potrzeby przyszłych badań, większość uczonych nie ma nic przeciwko ostatecznemu zniszczeniu zabójczego mikroba. Na wszelki wypadek, jako dodatkowy środek bezpieczeństwa (gdyby pojawiła się nagła, a nieoczekiwana konieczność ich użycia), zachowano szczepionki przeciwko wirusowi ospy.

³⁴⁷ Datę tę wielokrotnie już zmieniano i, zależnie od wyniku głosowania w najwyższych władzach Światowej Organizacji Zdrowia, ciągle może ona ulec przesunięciu. W kierownictwie tej organizacji istnieje pewna mniejszość, której zdaniem próbki z żywym wirusem ospy powinny zostać zachowane dla ewentualnych przyszłych badań. Ponieważ już od wielu lat WHO nie otrzymała sygnałów o przypadkach zachorowań na ospę (jest to czas znacznie dłuższy od okresu, w którym przenosi się infekcja), jest nadzwyczaj mało prawdopodobne, że wirus ten przetrwał gdzieś na Ziemi. Łańcuch infekcji został raz na zawsze przerwany.

spacer w przestrzeni kosmicznej.³⁴⁹ Jeden z lekarzy tymi słowami opisuje uczucie związane z przebywaniem na piętrze BSL4: "Kiedy już jesteś w laboratorium, zapięty w swoim kombinezonie, czujesz się zupełnie odizolowany od świata. Jesteś tylko ty i twój aparat tlenowy. To trochę jak nurkowanie głębinowe".³⁵⁰

Ale chociaż w XXI wieku do wyeliminowanego wirusa ospy mogą dołączyć kolejne zarazki, przypuszcza się, że choroby takie, jak wirus Ebola, będą się pojawiać coraz częściej. Ebola należy najprawdopodobniej do bardzo starych patogenów, które kiedyś "przeskoczyły" ze zwierząt na człowieka i od wieków wywoływały infekcje wśród mieszkańców małych, izolowanych wiosek. Nie jest wykluczone, że to dzięki nowoczesnej technice i rozwojowi komunikacji mogły się one rozprzestrzenić na całą populację ludzką.

Kiedy w roku 2020 uczeni będą dysponować obszerną encyklopedią zawierającą setki genomów wirusów ludzkich i zwierzęcych, potrafią dosyć szybko zrekonstruować długą historię ich ewolucji oraz drzewo genealogiczne tych zarazków. Chociaż wirusy mutują nadzwyczaj szybko, nawet zupełnie nowy wirus będzie miał przynajmniej trochę DNA przypominającego DNA jakiegoś znanego wirusa.

Aby przyjrzeć się wirusowi na poziomie atomowym, uczeni muszą otrzymać go w postaci próbki krystalicznej, którą prześwietlają następnie wiązką promieniowania rentgenowskiego. Kształt cząsteczki wirusa dostarcza często istotnych informacji o tym, jak wirus przyczepia się do komórki, jak przenika przez błonę komórkową i w jaki sposób dokonuje przejęcia maszyneryi reprodukcyjnej komórki, by zaczęła wytwarzać jego kopie. Do dnia dzisiejszego zaledwie kilka wirusów zostało zbadanych na poziomie atomowym. Jednakże do roku 2020 poznamy strukturę atomową setek wirusów.

Tę metodę zastosowano po raz pierwszy w roku 1985,³⁵¹ kiedy uczeni otrzymali pełny, trójwymiarowy obraz rhinowirusa 14, jednego z 200-300 wirusów wywołujących zwykły katar. Fizycy umieścili kryształ zbudowany z cząstek rhinowirusa w akceleratorze, gdzie próbka została naświetlona silną wiązką promieniowania rentgenowskiego. Na podstawie obrazu rozproszenia promieni X zebrano 6 milionów bitów danych, które wprowadzono następnie do superkomputera Cyber. Ze względu na złożoność informacji komputer potrzebował aż miesiąca na dokonanie obliczeń, zanim ostatecznie uzyskano trójwymiarowy obraz cząsteczki wirusa.

Wydruk komputerowy przyniósł niespodziewany wynik: wirus przypominał piłkę, dwadzieścia trójkątów sklejonych bokami tworzyło w przybliżeniu kulę. Powierzchnię piłki stanowiła białkowa otoczka, wewnątrz znajdował się kwas nukleinowy. Przyglądając się trójwymiarowej strukturze piłki, łatwo było odgadnąć, jak wirus radzi sobie z mechanizmami obronnymi zaatakowanego

³⁴⁸ Executive Summary of the World Health Report, 1996, s. 12, WHO Web Page: <http://www.who.org>.

³⁴⁹ W budynku 15 poddawany jest badaniom wirus Ebola, jeden z wirusów wywołujących gorączkę krwotoczną (Laurie Garrett: Wirus Ebola - pytania bez odpowiedzi, "Świat Nauki", grudzień 1995, s. 42-43), chorobę, w której zgon następuje w wyniku dziwnego, nie kontrolowanego krwawienia. Inne wirusy gorączki krwotocznej powodujące śmierć, a badane w CDC, to wirus Lassa, hantawirusy, wirus choroby denga, żółtej febry oraz wirusy zapalenia mózgu. Wirus Ebola jest tak tajemniczy, że nie wiemy nawet, jaki wektor (np. myszy, komary, wszy) przenosi chorobę, zanim zainfekowany zostanie człowiek (Bernard Le Guenno: Odradzające się wirusy, "Świat Nauki", grudzień 1995, s. 36-44).

³⁵⁰ "New York Times Magazine", 21 sierpnia 1994, s. 37.

organizmu.³⁵² Trójkąty przylegają do siebie ściśle, utrudniając przeciwciałom dostęp do wnętrza wirusa. Właśnie dlatego tak łatwo jest złapać katar.³⁵³

Analiza obrazów rentgenowskich innych wirusów wykazała, że niektóre z nich przypominają kształtem pojazdy kosmiczne, zaopatrzone w specjalne mechanizmy służące do uchwycenia się powierzchni komórki i wnikięcia do jej wnętrza. Jeden z wirusów przypominał kształtem sputnik wyposażony w śluzę mocującą, dzięki której mógł przyssać się do statku-matki (czyli komórki). Wspomniane techniki badawcze pozwoliły nam też lepiej zrozumieć sposób funkcjonowania wirusów wścieklizny i polio.

Zbadanie trójwymiarowych kształtów setek wirusów powinno dać nam możliwość stworzenia nowych sposobów ich zwalczania.

Skąd pochodzą wirusy?

Przez całe niemal dzieje ludzkości pozostawało tajemnicą, skąd biorą się choroby wirusowe, co bardzo utrudniało profilaktykę. Jednakże do roku 2020 uczeni poznają molekularne pochodzenie całych klas wirusów, a tym samym będą dysponowali istotnymi wskazówkami, jak z nimi walczyć.

Od dawna uważano, że większość wirusów ludzkich to szczepy, którym udało się przenieść ze zwierząt na człowieka. Ale do czasu pojawienia się medycyny molekularnej były to jedynie spekulacje. Jednym z pierwszych wirusów, których historię genomu udało się odtworzyć, jest wirus grypy. Odkrycie to odsłoniło przed nami jego intrygujące i niezwykle początki w królestwie zwierząt.

Wirus grypy azjatyckiej był przyczyną jednego z największych pogromów w naszej historii.³⁵⁴ Podczas pandemii roku 1918 na całym świecie zmarło na gripę 20 milionów osób, więcej niż zginęło podczas pierwszej wojny światowej. Infekcją została dotknięta połowa populacji ludzkiej na Ziemi.³⁵⁵ W samych tylko Stanach Zjednoczonych zmarło wtedy pół miliona ludzi, co czyni z grypy sprawcę największej katastrofy demograficznej XX wieku. Wirus ten był tak zjadliwy, że na skutek jego działania oczekiwana długość życia w USA spadła z 52 do 39 lat.³⁵⁶

Zgodnie z jedną z teorii początków wirusa grypy azjatyckiej należy doszukiwać się w starodawnym modelu chińskiego rolnictwa, gospodarce rolnej zwanej wielokulturową. Wedle starych zwyczajów chłopcy hodowali razem świnie i kaczki, żyjąc w bezpośredniej bliskości tych

³⁵¹ Ann Giudici Fettner: *The Science of Viruses*. William Morrow, Nowy Jork 1990, s. 125.

³⁵² Niestety, poznanie struktury rhinowirusa 14 nie ma decydującego znaczenia w walce przeciwko przeziębieniom. Istnieją setki różnych odmian wirusów wywołujących katar, trzeba byłoby zatem zainwestować nadzwyczaj wielkie sumy w przeprowadzenie frontального ataku na przeziębienia.

³⁵³ Ponadto możemy dostrzec, dlaczego jest tak łatwo zarazić się tego typu wirusem. "Piłka" wirusowa przyłącza się do limfocytów znajdujących się w płucach, przyklejając się do receptorów nazywanych międzykomórkowymi cząsteczkami adhezyjnymi, czyli ICAM (*intercellular adhesion molecules*). Jest to mechanizm bardzo sprytny. Nasz układ odpornościowy reaguje na obecność wirusów wywołujących przeziębienie, zwiększając liczbę cząsteczek ICAM, a tym samym wytwarza dodatkowe furtki, przez które wirusy mogą przenikać do wnętrza komórek, co jeszcze pogarsza sytuację (Nesse, Williams: *Why We Get Sick*, s. 42).

³⁵⁴ Istnieje opinia, że do wybuchu pandemii przyczynił się chaos społeczny towarzyszący końcowi I wojny światowej. Migracje dużych grup ludności mogły wpłynąć osłabiająco na układ odpornościowy wielu osób.

13. Fettner: *The Science of Viruses*, s. 134.

³⁵⁵ Enzo Russo, David Cove: *Genetic Engineering*. W. H. Freeman, Nowy Jork 1995, s. 62; "New York Times", 27 stycznia 1996, s. 21.

³⁵⁶ Enzo Russo, David Cove: *Genetic Engineering*. W. H. Freeman, Nowy Jork 1995, s. 62; "New York Times", 27 stycznia 1996, s. 21.

zwierząt. Wydaje się prawdopodobne, że wirus kaczki przeniósł się na świnię, które zjadały odchody ptactwa domowego. Natomiast świńskie odchody zasilają wodę w stawach, w których hodowano ryby i kaczki. Świnia okazała się więc "mikserem" genów wirusowych pochodzących od kaczki. Świnie ulegają infekcji wirusami kaczki i człowieka, następuje w nich wymieszanie genów, po czym produkt jest przekazywany dalej.³⁵⁷ Genetyk Joshua Lederberg, laureat Nagrody Nobla, ostrzega, że "co kilka lat powstają nowe odmiany grypy w wyniku naturalnego krzyżowania się wirusów ptasich i świńskich".

Frustrujący był fakt, że oryginalny wirus grypy azjatyckiej z 1918 roku zniknął bez śladu, pozostawiając biologów molekularnych bez możliwości dokładnego określenia, dlaczego śmierć poniosło aż tylu ludzi. W 1997 roku naukowcy ogłosili jednak, że dokonano doniosłego odkrycia: udało się uzyskać unikatowe próbki zachowanych z czasów pandemii tkanek, zawierających wirusa grypy azjatyckiej. Uczni analizujący obecnie materiał genetyczny wirusa sądzą, że zdobyta w ten sposób wiedza może pewnego dnia przyczynić się do zapobieżenia katastrofalnemu nawrotowi tej śmiertelnej choroby i pomóc w uratowaniu życia milionów osób.

W rzeczywistości analiza materiału genetycznego wirusa grypy jest prowadzona tak szczegółowo, że uczeni potrafią wyróżnić różne jego szczepy, obliczyć odległość genetyczną pomiędzy nimi, a nawet przewidzieć, kiedy pojawi się niebezpieczeństwo nowej epidemii.

Po raz pierwszy w historii medycyna molekularna daje nam możliwość sporządzenia drzewa genealogicznego wirusów, prześledzenia ich początków, a może nawet opanowania ich u samych źródeł, tak jak to było w przypadku chińskiego rolnictwa. Po 2020 roku powinniśmy już prawie w pełni rozumieć, jak wirusy ewoluują i jak się rozprzestrzeniają. To z kolei powinno pomóc nam w pokonaniu AIDS, jednego z największych wyzwań XXI wieku.

HIV: wyzwanie dla XXI wieku

Niektórzy badacze uważają, że dzisiejszy skoncentrowany atak na wirusa HIV może stać się wzorem dla przyszłości - użycie metod medycyny molekularnej do określenia słabych punktów wirusa czy bakterii i zaprojektowanie na tej podstawie nowej terapii danej choroby. Wirus HIV jest pierwszym, który atakujemy przede wszystkim na poziomie molekularnym, wykorzystując metody zaproponowane dzięki komputerowej symulacji procesów chemicznych.

Po raz pierwszy w historii zaistniały podstawy do optymistycznej oceny postępów w walce z HIV. "Koktajle" leków skierowanych przeciwko HIV obniżają liczbę cząsteczek wirusa do poziomu, kiedy nie można już wykryć jego obecności. Są to wprawdzie leki bardzo drogie (kuracja jednego pacjenta kosztuje 15 tysięcy dolarów rocznie) i niewykluczone, że z czasem pojawią się szczepy odporne, są to jednak pierwsze od lat dobre wieści z frontu walki przeciwko HIV. Niestety, wirus ten nabrał w ciągu ostatniego trzystoletnia takiego rozpędu, że żadna terapia nie powstrzyma natychmiast jego rozprzestrzeniania się.

Chociaż w 1997 roku podano, że w porównaniu z rokiem poprzednim liczba zgonów

³⁵⁷ Fettner: *The Science of Viruses*, s. 132.

spowodowanych AIDS zmalała w Nowym Jorku o 50%, a w całych Stanach Zjednoczonych o 12%, epidemia AIDS rozszerza się w świecie w sposób prawie niezakłócony.³⁵⁸ Jej szczyt przypadnie na pierwsze lata XXI wieku. Epidemiolodzy szacują, że w 2020 roku wirusem HIV będzie zarażonych 100 milionów ludzi. Jest to liczba o wiele większa od liczby ofiar dwudziestowiecznych wojen światowych.

Na podstawie badań połączonego programu HIV-AIDS, prowadzonych pod egidą ONZ, podano w 1996 roku najnowsze statystyki, jasno uwidaczniające nieprzerwany pochód tej choroby. Na całym świecie pełne objawy AIDS rozwinęły się u 1,3 miliona osób, co oznacza wzrost o 25% w ciągu zaledwie jednego roku. Liczba osób, które w 1995 roku zmarły na choroby związane z AIDS, wynosiła 900 tysięcy. Bardziej znaczące są dane dotyczące liczby osób zarażonych wirusem HIV: 21 milionów ludzi, z czego 42% to kobiety.³⁵⁹

Każdego dnia przybywa 8500 osób zarażonych wirusem HIV. Z tego dwie trzecie przypada na kraje afrykańskie, leżące na południe od Sahary. Przekłada się to na tragedię w skali światowej, która będzie trwać jeszcze dziesiątki lat.³⁶⁰

Komputery a drzewo genealogiczne HIV

Analiza wirusa HIV na poziomie molekularnym pozwala uczonym wyjaśnić tajemnice związane z AIDS, na przykład: dlaczego może upłynąć aż 10 lat od chwili zainfekowania do śmierci ofiary oraz dlaczego tak trudny jest proces leczenia.

Wirus HIV wcale nie pozostaje uśpiony przez dekadę. Od chwili wniknięcia do organizmu prowadzi zaciętą, nieustającą walkę z układem odpornościowym gospodarza. Układ ten zwalcza wirusa, zabijając niemal miliard cząsteczek dziennie (około 1/3 całkowitej ich ilości). Z kolei wirus zabija każdego dnia około miliarda pomocniczych limfocytów T CD4⁺, których stratę organizm rozpaczliwie stara się odrobić. Ta okrutna walka, w której codziennie giną miliardy cząsteczek wirusa HIV i miliardy limfocytów pomocniczych organizmu, ciągnie się kilka lat, aż liczba komórek pomocniczych układu odpornościowego zaczyna powoli spadać, malejąc od około 1000 komórek w mikrolitrze krwi do zaledwie 200. Wtedy właśnie pojawiają się pierwsze objawy AIDS. Śmierć następuje zwykle w ciągu 2 lat.³⁶¹

³⁵⁸ "Washington Post", 25 stycznia 1997, s. A1; "New York Times", 28 lutego 1997, s. A1.

³⁵⁹ "New York Times", 7 czerwca 1996, s. A3.

³⁶⁰ Według najbardziej optymistycznych szacunków, do roku 1993 w USA wirusem HIV zostało zarażonych 630 tysięcy do 900 tysięcy osób. W 1996 roku na choroby związane z AIDS umarło 50 tysięcy osób, a kolejnych 40 tysięcy do 80 tysięcy zostało zarażonych. W XXI wieku głównymi ofiarami AIDS padną prawdopodobnie Afrykanie i Azjaci. Niestety, rządy 1 przywódcy religijni wykazują daleko posuniętą niechęć, jeśli niejawni opór, wobec wszelkich prób otwartej dyskusji na temat tej choroby. Należy zatem spodziewać się niczym nie powstrzymanego jej pochodzenia przez kraje Trzeciego Świata.

W niektórych rejonach aż do 40% populacji dorosłych jest już zarażonych wirusem HIV. W leżących na południe od Sahary krajach afrykańskich, Botswanie, Ugandzie czy Zimbabwie, nawet czwarta część ludności może umrzeć z powodu AIDS.

Chociaż większość złych wieści płynie z Afryki, następne największe zagrożenie epidemią AIDS dotyczyć będzie Azji, gdzie żyje 2/3 populacji świata. Analizując alarmujące trendy demograficzne w krajach azjatyckich, WHO spodziewa się najgorszego. Według danych tej organizacji, w Azji jest już 3,5 miliona zarażonych wirusem HIV. Do roku 2000 liczba ta wzrośnie do 12 milionów. W najlepszym razie, do roku 2015 na AIDS umrze 10 milionów mieszkańców Azji.

³⁶¹ Martin A. Nowak, Andrew J. McMichael: W jaki sposób wirus HIV pokonuje układ odpornościowy, "Świat Nauki", październik 1995, s. 46.

Biolodzy molekularni wiedzą już, dlaczego tak trudno jest znaleźć lekarstwo na AIDS. Wirus HIV nie dysponuje zwykłymi mechanizmami naprawczymi, które korygowałyby błędy genetyczne pojawiające się po każdym akcie reprodukcji wirusa. W wyniku tego każdy cykl replikacyjny przynosi nowe mutacje, z oszałamiającą wręcz szybkością jednego błędu na każde 2000 nukleorydów. W ciągu 10 lat wirus HIV może przejść drogę ewolucyjną równoważną milionowi lat ewolucji człowieka, biorąc pod uwagę częstość mutacji genetycznych u ludzi. Wirusy HIV, które ostatecznie powodują śmierć gospodarza, mogą być oddalone o kilka tysięcy pokoleń od tych, które pierwotnie zainfekowały pacjenta.

Z molekularnego punktu widzenia wirus HIV jest zdumiewająco prosty - zawiera tylko 9 genów. Jest też nadzwyczaj podobny do swojego krewniaka - atakującego małpy wirusa SIV.

Gerald Meyers z Narodowego Laboratorium w Los Alamos w stanie Nowy Meksyk stwierdził, po przeanalizowaniu setek sekwencji genomów wirusów HIV pochodzących z różnych części świata, że materiał genetyczny wirusa HIV-1 ulega mutacjom z fenomenalną szybkością około 1% rocznie. (Człowiek potrzebował mniej więcej 5 milionów lat, aby oddalić się o 1,6% genomu od szympansa). Dzięki temu HIV może posłużyć jako "zegar molekularny" do ustalenia, kiedy poszczególne jego odmiany oddzielały się od pozostałych.³⁶²

Istnieje 6 podklas wirusa HIV, różniących się genetycznie nawet w 30%. Wiemy, że w każdej z nich wirusy ulegają mutacjom z szybkością 1% genomu rocznie.³⁶³ Niewykluczone więc, że około 30 lat temu miał miejsce swoisty wybuch, gwałtowne rozprzestrzenianie się choroby, które Meyers nazywa "wielkim wybuchem". "Wygląda na to, że staliśmy się posiadaczami sprawnego zegara molekularnego - mówi Meyers. - Nie można stwierdzić, gdzie nastąpił wybuch, za to można w przybliżeniu określić jego czas - początek lat siedemdziesiątych. A równoległe z rozszerzającą się pandemią zachodziła ewolucja poszczególnych szczepów".³⁶⁴

W USA główną odmianą HIV jest typ B wirusa, który może być przekazywany w kontaktach homoseksualnych, najczęściej wraz z przeniknięciem wydzielin ciała przez drobne uszkodzenia skóry. Liczba nowych zakażeń HIV wśród populacji amerykańskich homoseksualistów ulega stabilizacji, ale pracownicy służby zdrowia przygotowują się na kolejną inwazję nowych szczepów HIV, przenoszonych tym razem drogą kontaktów heteroseksualnych. Uczeni obawiają się, że mogą one zagrozić większej części społeczeństwa amerykańskiego, podobnie jak się to już zdarzyło w wielu innych częściach świata.

W krajach takich jak Tajlandia 90% wirusów HIV stanowi przenoszony drogą kontaktów heteroseksualnych typ E. Badania prowadzone przez Maxa Essexę z Uniwersytetu Harvarda

³⁶² "New York Newsday", 21 grudnia 1993, s. 63.

³⁶³ Meyers znalazł następujące podklasy HIV-1:

Podklasy HIV-1	Teren występowania
Typ A	Środkowa i południowa Afryka, Indie
Typ B	Ameryka Północna, Peru, Europa, Brazylia, południowa Tajlandia, Afryka
Typ C	Malezja, Indie, Ameryka Południowa
Typ D	Rwanda, Tanzania, Uganda
Typ E	Afryka, Tajlandia, Indie
Typ F	Rumunia, Gabon, Zair, Brazylia

³⁶⁴ *Ibidem*.

wyjaśniły różnicę w sposobie przenoszenia obu typów HIV. Okazuje się, że typ E o wiele łatwiej wnika do komórek ścianki pochwy niż wirus typu B. Biorąc pod uwagę znaczną liczbę żołnierzy amerykańskich przebywających w Tajlandii, kwitnący w tym kraju handel usługami seksualnymi oraz łatwość podróży międzykontynentalnych, pozostaje jedynie kwestią czasu, kiedy nowe odmiany HIV rozprzestrzenia się także w Stanach Zjednoczonych.³⁶⁵

Odkrywanie tajemnic genomu HIV

Znajomość genetycznej konstytucji wirusa HIV ma kluczowe znaczenie dla znalezienia leku na AIDS. Kiedy naukowcom po raz pierwszy udało się odczytać mapę genetyczną HIV, retro-wirusa zawierającego jedynie RNA, a nie DNA, ze zdziwieniem odkryli, że jest on nadzwyczaj skomplikowany. Większość retrowirusów posiada tylko 3 geny, nazywane *gag*, *env* i *pol*. Natomiast wirus HIV ma aż 9 genów, zapisanych przez 9200 par zasad.

Najważniejsze geny kodują trzy enzymy: proteazę HIV, odwrotną transkryptazę i integrazę HIV. W 1994 roku w pełni określono trójwymiarową strukturę molekularną każdego z tych enzymów. Strategia przyjęta przez naukowców w walce z wirusem polega na podawaniu leków zaburzających działanie tych trzech enzymów, których obecność jest niezbędna dla rozwoju wirusa. Lekarze mają nadzieję opanować chorobę dzięki koktajlom złożonym z leków hamujących te enzymy.

Atak wirusa HIV na komórki gospodarza można podzielić na cztery główne etapy. Każdy z nich jest potencjalnym celem dla nowych leków. (W uproszczeniu, w pierwszym etapie wirus przykleja się do receptorów znajdujących się na powierzchni komórek, takich jak komórki CD4 dodatnie. Wirus wstrzykuje swój RNA do wnętrza komórki, gdzie odpowiedni enzym przekształca go w DNA. W drugiej fazie obcy, wirusowy DNA penetruje jądro komórkowe i zmusza znajdującą się tam maszynę do produkcji długich łańcuchów RNA oraz białek potrzebnych do stworzenia kopii wirusa. W trzecim etapie enzym, zwany proteazą, rozcina te długie nici RNA na krótsze kawałki, nadające się do produkcji nowych wirusów. W końcu tysiące powstałych w ten sposób cząstek HIV przenikają na zewnątrz przez błonę komórkową i zalewają organizm nowym pokoleniem śmiertelniego wirusa).

Każdy etap ujawnia wrażliwe punkty wirusa. Na przykład lek o nazwie AZT (azydotymidyna) uderza w wirusa w trakcie pierwszej fazy, uniemożliwiając konwersję RNA na DNA. Ponieważ cząsteczka AZT jest bardzo podobna do cząsteczki tymidyny (z wyjątkiem brakującej grupy hydroksylowej), wirus zostaje oszukany i wykorzystuje w procesie replikacji AZT zamiast tymidyny. Ale podstawienie w miejsce tymidyny cząsteczki AZT powoduje wstrzymanie syntezy DNA, gdyż brakująca grupa hydroksylowa jest nieodzowna do utworzenia poprawnego łańcucha DNA.³⁶⁶

Początkowo AZT powodowała niemal natychmiastowe ustąpienie objawów AIDS, wywołując płonne, jak się później okazało, nadzieje. Euforia wkrótce znikła. Testy wykazały, że w ciągu roku lub dwóch po kuracji AZT chorzy padali ofiarą nowych, zmutowanych szczepów HIV.

³⁶⁵ "Discover", czerwiec 1996, s. 69.

Ale w 1996 roku opracowano nową serię leków, które miały zaatakować HIV w innym miejscu, na trzecim etapie, kiedy to proteaza tnie białka wirusowe na mniejsze fragmenty, potrzebne do stworzenia kolejnego pokolenia wirusów. Substancje blokujące działanie proteazy hamują tworzenie kompletnych cząstek wirusa HIV w późnej fazie jego rozwoju, tuż przed opuszczeniem zainfekowanej komórki.

Wstępne badania nad inhibitorami proteazy dały zaskakujące wyniki. Po czterech miesiącach kuracji z zastosowaniem leku o nazwie Indinavir we krwi 13 spośród 26 leczonych pacjentów naukowcy z Uniwersytetu Nowojorskiego nie wykryli obecności wirusa. Natomiast z grupy 26 pacjentów, u których zastosowano kombinację Indinaviru, AZT i 3TC, obecności wirusa nie wykryto aż u 24 osób. Była to najskuteczniejsza spośród dotychczas opracowanych form terapii AIDS. Obiecujące rezultaty otrzymano także, stosując inny inhibitor proteazy, Ritonavir, dzięki któremu w grupie 1100 pacjentów śmiertelność spadła o połowę. "Wykazaliśmy, że potrafimy zahamować replikację wirusa i utrzymać ją na *tym* poziomie" - kwituje te osiągnięcia Julio S. G. Montaner z Uniwersytetu Kolumbii Brytyjskiej.

Obecnie badacze zajmujący się AIDS są jednak ostrożni. Jak to ujął Harvey Kakadon ze Szpitala Beth Israel w Bostonie: "Nie wierz nikomu, kto zaprzecza, że balansujemy na krawędzi". Poza tym leki są bardzo drogie i nie wiadomo, czy nie pojawią się wkrótce szczepy odporne na ich działanie.

Niemniej każdy dzień przynosi nowe osiągnięcia w badaniach nad genetyką wirusa HIV. Pod koniec 1996 roku odkryto gen, nazwany *CKR5* (obecność tego genu stwierdzono u 1% przedstawicieli rasy białej), którego mutacja uodparnia całkowicie na zarażenie wirusem HIV. Komórki układu odpornościowego takich osób nie mają na swojej powierzchni cząsteczek potrzebnych wirusowi HIV do zakotwiczenia się.³⁶⁷ Zrodziło to zupełnie nowe podejście do problemu walki z HIV. Stosując metody terapii genowej, można by tak zmodyfikować limfocyty T, żeby HIV nie mógł się do nich przyłączyć.

Choć nikt nie twierdzi, że wirus HIV został pobity, pewne jest, że biologia molekularna otworzyła obiecujące perspektywy walki z AIDS. A stosowane w tej walce metody - techniki medycyny molekularnej - staną się podstawowymi sposobami badań nad chorobami w roku 2020. Żmudne, przynoszące cierpienia i często niebezpieczne postępowanie metodą prób i błędów stosowane w przeszłości ustąpi miejsca biologii molekularnej wykorzystującej badania nad DNA, modelowanie

³⁶⁶ *Ibidem*, s. 494.

³⁶⁷ Dzięki dokładniejszym badaniom genomu osób opornych na HIV dość szybko odkryto, że występuje u nich mutacja powodująca pewną zmianę w układzie odpornościowym. Polega ona na tym, że wirus HIV nie może przyłączyć się do limfocytów T. Zwykle komórki T na swojej błonie mają "miejsce dokowania" wykorzystywane przez wirus HIV do zacumowania na powierzchni komórki, by wnikać do jej wnętrza. Jednakże na powierzchni zmutowanych wersji limfocytów T nie ma tych miejsc do "zacumowania" i stąd wynika prawdopodobnie całkowita oporność na AIDS.

Po sklonowaniu tych genów uczeni poznali zasadę działania tego niezwykłego mechanizmu. Każdy z nas posiada dwie kopie genu *CKR5*. Gen ten, długości około 1000 par zasad, koduje białko "dokujące" na powierzchni komórek T. W zmutowanej formie genu brak około 32 par zasad, co odbija się na strukturze białka.

Ktoś, kto odziedziczył dwie zmutowane kopie genu *CKR5* (po jednym od każdego z rodziców), jest całkowicie oporny na AIDS, ponieważ wirus HIV nie ma możliwości przyłączenia się do powierzchni limfocytów T. Jednak jeśli ktoś odziedziczył tylko jedną zmutowaną formę genu to, co prawda, miejsc cumowania wirusa na komórkach T jest mniej, ale jednak istnieją, a to już wystarcza, żeby stracić oporność. Osoby z jedną zmutowaną wersją *CKR5* żyją nieco dłużej od chwili zakażenia, około 13 lat, w porównaniu ze średnim okresem przeżywalności wynoszącym 10 lat.

komputerowe oraz techniki rzeczywistości wirtualnej do konstruowania leków działających na poziomie molekularnym.

Nowe drobnoustroje

Paradoksalnie, bakterie są łatwym obiektem ataku medycyny molekularnej. Trudniej jest zwalczać wirusy (bez jednoczesnego uszkodzenia komórek organizmu gospodarza), które są jedynie maleńkimi łańcuchami DNA lub RNA i reprodukują się, terroryzując układ metaboliczny komórki.³⁶⁸ Niestety, wskutek nierozsądnej i krótkowzrocznej polityki zdrowotnej pozwolono rozplenić się bakteriom opornym na antybiotyki. Wśród żarłocznych zarazków (powodujących martwicze zapalenie powięzi) znajdujemy, na przykład, jeden z wielu zmutowanych szczepów paciorkowca wywołującego anginę. Najbardziej aktywne szczepy tych mutantów potrafią w ciągu godziny niszczyć kilka centymetrów kwadratowych tkanki. Jest to ogromna szybkość. Chociaż w leczeniu anginy ciągle stosuje się antybiotyki, pojawiły się już szczepy paciorkowców oporne na erytromycynę. Jim Henson, twórca powszechnie znanych Muppetów, podziwiany i kochany przez miliony dzieci na całym świecie, zmarł w 1990 roku z powodu infekcji oporną formą paciorkowca.

W miarę wzrostu uprzemysłowienia należy być przygotowanym na pojawianie się coraz większej liczby chorób wywoływanych przez zarazki oporne na antybiotyki. W erze odrzutowców tylko kilka godzin lotu dzieli najbardziej odległe rejony świata od Stanów Zjednoczonych. "Chorobę, która pojawiła się dzisiaj w jakichś dalekich krajach, jutro możemy mieć u siebie. Z pewnością nie jesteśmy na nią odporni" - stwierdza James Hughes z Centrum Zwalczenia Chorób.³⁶⁹ Choroba legionistów, zespół wstrząsu toksycznego oraz borelioza są przykładami chorób, które rozprzestrzeniły się w USA jako konsekwencja rozwoju cywilizacji.³⁷⁰

Trzeba zdać sobie sprawę, że wręcz pływamy w oceanie chorób. Siedząc przy stole podczas kolacji lub beztrwosko spacerując po parku, trwamy w błogiej nieświadomości, że niemal każdy centymetr kwadratowy naszego otoczenia pokryty jest milionami zarazków. Liczba drobnoustrojów wewnątrz naszego ciała jest większa niż całkowita liczba ludzi, którzy kiedykolwiek żyli na Ziemi.

Nie bierzemy pod uwagę, że od miliardów lat układy odpornościowe naszych przodków prowadziły cichą, nieustępliwą wojnę z chorobami. W walce z niepożądanymi intruzami wypróbowano miliony molekularnych sposobów ich zniszczenia. Za każdym razem, kiedy w tym niekończącym się tańcu życia i śmierci nasz DNA ewoluował, wynajdując nowe środki obrony przeciwko chorobom, w wyniku ewolucji zarazków pojawiały się nowe mechanizmy umożliwiające

³⁶⁸ I po prawdzie, bakterie powinny być właśnie bezbronne jak dzieci. Bakterie mają swój własny metabolizm, a dla ich reprodukcji musi zajść wiele złożonych procesów molekularnych. Zaatakować je można zatem na wiele sposobów, zakłócając przebieg którejkolwiek z tych reakcji.

³⁶⁹ "Parade", 23 kwietnia 1995, s. 10.

³⁷⁰ Wzrost liczby zachorowań na chorobę legionistów jest wynikiem szeregowego stosowania urządzeń klimatyzacyjnych. Sztucznie wytworzone środowisko wodne hotelowych systemów klimatyzacyjnych okazało się wylęgarnią tej choroby. Z kolei zespół wstrząsu toksycznego ma związek z wprowadzeniem nowego rodzaju superabsorbujących tamponów, które dzięki nadzwyczaj rozwiniętej powierzchni i obfitości tlenu utworzyły całkowicie nowe środowisko dla rozwoju mikrobów. Powstały idealne warunki do namnażania się bakterii *Staphylococcus aureus*. W nowym środowisku rozmnaża się ona 10 tysięcy razy szybciej niż normalnie, wydzielając olbrzymie ilości śmiertelnej trucizny zwanej TSST-1 (Garrett: *The Corning Plague*, s. 408, 553). Borelioza stała się groźna wraz z rozbudową przedmieść na terenach zamieszkałych przez jelenie i myszy. Kleszcze, będące pasożytami tych zwierząt, są nosicielami boreliozy (wywoływanej przez bakterię

im pokonanie i tych barier. Jak to ujął jeden z pisarzy: "Choć człowiek może zbudować lepszą pułapkę na myszy, Natura zawsze wymyśli jeszcze lepszą mysz".³⁷¹

Niestety, bakterie górują nad nami, gdyż ich ewolucja może w ciągu jednego dnia doprowadzić je tam, dokąd my dotrzemy dopiero po tysiącach lat.³⁷² Daje im to zdecydowaną przewagę w walce z mechanizmami obronnymi naszych organizmów.

Powszechne zastosowanie antybiotyków po drugiej wojnie światowej pozwoliło jednak, po raz pierwszy w historii, przynajmniej czasowo zapanować nad takimi chorobami, jak zapalenie płuc, gruźlica, cholera, malaria, kiła, zapalenie opon mózgowych itp. Szacuje się, że samo tylko wprowadzenie antybiotyków wydłużyło średnią długość życia o 10 lat. Obecnie znanych jest ponad 8 tysięcy antybiotyków, z czego 100 z powodzeniem stosuje się przeciwko szerokiemu spektrum bakterii.³⁷³ Wartość sprzedawanych na świecie antybiotyków wynosi 23 miliardy dolarów rocznie. Ale w miarę jak spadała śmiertelność związana z infekcjami bakteryjnymi, malało też zainteresowanie nimi zarówno w społeczeństwie, jak i wśród wytwórców leków. Nic więc dziwnego, że nieuniknione przerwanie tego wału ochronnego, jaki dotąd tworzyły antybiotyki, ma poważne konsekwencje dla przyszłości zdrowia publicznego.

Co za dużo, to niezdrowo

Spoglądając wstecz na dwudziestowieczną medycynę, lekarze z roku 2020 stwierdzą ze zdziwieniem, jak krótkowzroczną i niemądrą taktykę stosowano w przeszłości. Zdumienie będzie budziło samozadowolenie dwudziestowiecznych lekarzy, którzy sukces w niewielkiej potyczce przeciwko bakteriom utożsamiali z wygraną wojną.

Dzisiejsze nieopanowane i bez troski nadużywanie antybiotyków przetrzebiło wszystkie bakterie oprócz najsilniejszych i najbardziej opornych. Nasze własne ciała stały się polem darwinowskiej walki o przetrwanie, w której przeżywają tylko najbardziej zjadliwe, zmutowane szczepy bakterii.

Obecnie mniej więcej jedna bakteria na 10 milionów jest oporna na dany antybiotyk.³⁷⁴ Nadmierne stosowanie jakiegoś antybiotyku pozwala garstce opornych na niego bakterii rozmnożyć się i rozprzestrzenić. Jednoczesne użycie dwu antybiotyków zwiększa skuteczność leków, ponieważ zazwyczaj jedna na 100 bilionów (=10 milionów razy 10 milionów) bakterii okaże się oporna. Jeśli jednak poczekamy dostatecznie długo, wcześniej czy później pojawią się mutanty odporne na działanie obu antybiotyków.

W 1977 roku odkryto, na przykład, pierwsze szczepy bakterii *Streptococcus pneumoniae* (wywołującej zapalenie płuc) odporne na penicylinę. Dzisiaj istnieją mutanty streptokoków odporne na penicylinę, cefalosporynę i inne antybiotyki.³⁷⁵

W Stanach Zjednoczonych w 1992 roku z powodu infekcji wywołanych opornymi na antybiotyki

Borrelia burgdorferi).

³⁷¹ G. Youmans, P. Paterson, H. Sommers: *The Biological and Clinical Basis of Infectious Diseases*. W. B. Saunders, Filadelfia 1980.

³⁷² Nesse, Williams: *Why We Get Sick*, s. 51.

³⁷³ Bernard Dixon: *Power Unseen*. W. H. Freeman, Nowy Jork 1994, s. 21; "New York Times", 26 kwietnia 1996, s. D1.

³⁷⁴ Russo, Cove: *Generic Engineering*, s. 97.

³⁷⁵ *Ibidem*, s. 96.

szczepami bakterii zmarło 19 tysięcy osób. Pośrednio drobnoustroje te przyczyniły się do śmierci kolejnych 58 tysięcy osób.

Jak twierdzi Robert E. Shope, profesor epidemiologii Wydziału Medycyny Uniwersytetu Yale: "Jeśli nie pospieszymy się z opanowaniem sytuacji, może spotkać nas tragedia podobna do epidemii AIDS czy grypy".³⁷⁶

"Istnieją obecnie organizmy, na szczęście ciągle rzadkie, odporne na wszelkie znane antybiotyki - ostrzega Fred Tenover z Centrum Zwalczenia Chorób. - Liczba biochemicznych sposobów walki z bakteriami jest ogromna,³⁷⁷ a najprostsze z nich już wykorzystaliśmy. W przypadku niektórych organizmów stoimy w istocie u kresu tej drogi".

Co gorsza, firmy farmaceutyczne nie przykładają wielkiej wagi do poszukiwań nowych rodzajów antybiotyków. "Brakuje nam nowych leków. Wchodzimy w epokę zabójczych zarazków, a to może się okazać katastrofalne w skutkach" - twierdzi Mitchell L. Cohen, specjalista chorób zakaźnych w Centrum Zwalczenia Chorób.

Problem leży też w tym, że na szukanie nowych leków firmy muszą przeznaczać olbrzymie środki. Jako że często wprowadzenie jednego nowego leku na rynek trwa 10-15 lat i pochłania 300 milionów dolarów, już na początku przyszłego wieku możemy stanąć bezradni wobec pewnych chorób, wywoływanych opornymi na znane leki bakteriami.³⁷⁸

Producenci leków dostarczają także rolnictwu wielkich ilości antybiotyków, używanych do "wspomagania wzrostu". Podczas badań prowadzonych na kurzej fermie, gdzie do paszy naukowcy dodawali tetracyklinę, wykryto, że w ciągu sześciu miesięcy takiego żywienia w jelitach 7 spośród 11 kurcząt pojawiły się odporne na ten antybiotyk bakterie. Niektóre szczepy wytworzyły oporność także na cztery inne antybiotyki.

Budzi to poważne wątpliwości dotyczące prowadzonych na dużą skalę systemów hodowli, w których zaleca się stosowanie sporych ilości antybiotyków w celu osiągnięcia jak największych zysków. Około 11 tysięcy ton antybiotyków trafia rocznie na fermy kurczaków i trzody chlewnej. To przerażające, ale ilość ta odpowiada połowie masy zużywanych w USA antybiotyków.³⁷⁹ Nic dziwnego, że podobne praktyki zostały zakazane w wielu krajach europejskich.

Projektowanie cząsteczek

Wiedząc, w jaki sposób różne związki chemiczne działają na poziomie molekularnym, uczeni będą w stanie kreować nowe odmiany cząsteczek, używając przy tym często symulacji komputerowych i rzeczywistości wirtualnej. Dzięki temu będzie można projektować lekarstwa wolne od działań ubocznych oraz nowe antybiotyki, skierowane przeciwko opornym drobnoustrojom.

³⁷⁶ "Washington Post", 27 czerwca 1995, s. A6.

³⁷⁷ "Discover", sierpień 1994, s. 46.

³⁷⁸ "Washington Post", 14 kwietnia 1996, s. H1. Abigail Salyers i Dixie Whitt bez ogródek potępiają kierowane chęcią zysku zaniechanie badań: "Ze względu na obecne nasycenie rynku antybiotykami firmy farmaceutyczne poddają się po prostu prawom rynku, zamykając lub drastycznie redukując programy poszukiwania nowych antybiotyków" (Abigail A. Salyers, Dixie D. Whitt: *Bacterial Pathogenesis*. ASM Press, Waszyngton 1994, s. 101).

³⁷⁹ "Washington Post", 27 czerwca 1995, s. A6.

Działania uboczne, osłabiające pacjenta, a czasem nawet powodujące śmierć, stanowią główną przeszkodę we wprowadzaniu nowych leków, będąc często przyczyną zarzucenia nowych, obiecujących sposobów terapii. Większość efektów ubocznych pochodzi stąd, że cząsteczki pełnią więcej funkcji niż tylko tę, która nas interesuje. W świecie molekularnym struktura odgrywa decydującą rolę. Stosowanie leku wywołującego skutki uboczne można przyrównać do użycia wytrychu, który otwiera nie jeden, lecz kilka zamków. Czasami prowadzi to do zupełnie niezamierzonych efektów.³⁸⁰

Być może w przyszłości, dzięki stosowaniu komputerów, możliwe będzie projektowanie "molekularnych kluczy" pasujących do jednego tylko "molekularnego zamka". Działanie cząsteczek będzie sprawdzane metodami rzeczywistości wirtualnej, abyśmy mogli mieć pewność, że nie wchodzi one w niepożądane reakcje.

Rzeczywistość wirtualną będzie można również stosować przy projektowaniu nowych klas antybiotyków. Na przykład cząsteczka penicyliny zawiera fragment, zwany pierścieniem beta-laktamowym, który pozwala jej niszczyć ściany komórkowe wielu bakterii. Działanie pierścienia beta-laktamowego penicyliny polega na dezorganizacji funkcjonowania własnych enzymów bakterii, które mają zdolność rozpuszczania bakteryjnych ścian komórkowych. Pozbawiona kontroli nad tymi groźnymi enzymami bakteria dosłownie się rozpada.

"To jak wetknięcie klucza francuskiego w tryby precyzyjnej maszynierii, która zapewnia stabilność ściany komórkowej" -mówi George Jacoby z Kliniki Lahey w Burlington, w stanie Massachusetts.³⁸¹

To z kolei pozwala nam projektować cząsteczki. Dzięki analizie molekularnych podstaw funkcjonowania bakterii uczeni w 2020 roku będą potrafili wyszukiwać inne, szczególnie wrażliwe na działanie antybiotyków punkty w komórkach bakterii, jak na przykład rybosomy (ich maleńkie fabryki białek) czy szlak syntezy kwasu foliowego. Dzięki trójwymiarowym symulacjom komputerowym białek będzie można zaprojektować nowe antybiotyki uderzające w te miejsca.³⁸² Rybosomy bakteryjne są celem ataku streptomycyny, gentamycyny i tetracykliny, natomiast sulfonamidy i trimetoprym blokują szlak produkcji kwasu foliowego.

Metody biologii molekularnej pozwalają nam również zbadać, jakie wymyślne mechanizmy unieszkodliwiają antybiotyki wyewoluowały u bakterii. Oporne na penicylinę bakterie wykształciły mechanizm rozbijający beta-laktamowy pierścień penicyliny. Produkują one mianowicie enzym, beta-laktamazę, która rozcina pierścień beta-laktamowy w miejscu wiązania węgla z azotem, pozostawiając cząsteczkę antybiotyku całkowicie nieaktywną.

"Bakteria przeprowadza bezpośredni kontratak, zanim antybiotyk osiągnie swego celu" -

³⁸⁰ Jako przykład może służyć ludzka insulina. Zanim, dzięki metodom inżynierii genetycznej, stało się możliwe produkowanie jej w ilościach nieograniczonych, lekarze byli zmuszeni stosować w kuracji cukrzyków insulinę świń. Często towarzyszyły temu nieprzyjemne efekty uboczne. Podobnie neuroleptyki stosowane w leczeniu schizofrenii powinny być przyjmowane pod ścisłym nadzorem lekarza, gdyż czasami mogą powodować dziwaczne ruchy języka.

³⁸¹ "Discover", sierpień 1994, s. 49.

³⁸² *Ibidem*.

komentuje Jacoby.³⁸³ Obecnie istnieje wiele szczepów bakteryjnych wytwarzających enzymy, które, podobnie jak w przypadku pierścienia beta-laktamowego penicyliny, rozcinają lub neutralizują aktywne fragmenty leku. Inne bakterie z kolei wypracowały nowy system pozwalający im dosłownie wypompowywać cząsteczki leku z komórki na zewnątrz.

Uczeni poznali również molekularne mechanizmy zjawiska, dzięki któremu bakterie potrafią przekazywać sobie nawzajem nabytą oporność. Wewnątrz komórki bakteryjnej znajdują się niewielkie, koliste nici DNA, zwane plazmidami. W DNA plazmidów można precyzyjnie wyróżnić sekwencje odpowiedzialne za produkcję beta-laktamazy, enzymu zapewniającego oporność na penicylinę. Plazmidy te są często wymieniane między bakteriami, nawet bakteriami różnych gatunków. W rezultacie, jeśli jedna bakteria wytworzy oporność na antybiotyk, może przekazać swoje plazmidy innym bakteriom. Jeśli jakaś jedna bakteria rozwinęłaby oporność na wszystkie antybiotyki, to mogłaby teoretycznie doprowadzić do zupełnego załamania naszego leczenia, co byłoby scenariuszem prawdziwie makabrycznym. W 1976 roku odkryto, na przykład, że gonokoki rzeżączki mogą uzyskiwać oporność na penicylinę dzięki wymianie plazmidów z opornymi szczepami *E. coli*. Obecnie 90% gonokoków w Tajlandii i na Filipinach jest opornych na ten antybiotyk.³⁸⁴

O cząsteczkach i mistykach

Jak w 2020 roku i latach następnych lekarze będą radzili sobie z podobnymi problemami? Dość oryginalnym pomysłem jest zwrócenie się ku dawnej mądrości szamanów.

W XXI wieku lekarze wciąż będą poszukiwać na całym świecie nowych źródeł naturalnych antybiotyków. Powszechnie stosowane lekarstwa, jak aspiryna, kodeina, chinina, rezerpina (lek przeciw nadciśnieniu), winblasryna (lek przeciwko ziarnicy złośliwej) i ipecac (środek wymiotny), mają swoje źródła w medycynie ludowej. Analizując skład substancji przeznaczonych do zatruwania strzał, zawierających kurarę, znaleziono, na przykład, nowe środki znieczulające.³⁸⁵ Skóra żaby afrykańskiej, zawierająca pewien związek chemiczny, który może okazać się pierwszym z nowej serii antybiotyków,³⁸⁶ jest używana do leczenia infekcji skórnych znanych pod nazwą liszajca.

Paul Cox, były misjonarz mormoński, jest przykładem pioniera, którego działalność przykuwa uwagę środowisk medycznych. Znaczące sukcesy odniósł on w poszukiwaniach nowych lekarstw pochodzących z wysp Samoa. (Dzięki biegłej znajomości języka niedawno został nawet pełnoprawnym wodzem samońskim). Do Coxa dotarła wiadomość, że szamani z wyspy Upolu, niedaleko Samoa, stosują z powodzeniem pewną roślinę w leczeniu żółtej febry. Wysłał próbki tego zieleń do Narodowego Instytutu Raka, gdzie wyizolowano silny środek przeciwwirusowy, zwany prostratyną.³⁸⁷ Jest to obecnie jeden z kandydatów na lek przeciwko wirusowi HIV.

Zwykle poszukiwania obiecujących substancji wytwarzanych przez rośliny kończą się sukcesem

³⁸³ *Ibidem*.

³⁸⁴ Nesse, Williams: *Why We Get Sick*, s. 54.

³⁸⁵ Paul Allan Cox, Michael J. Balick: Poszukiwanie leków metodą etno-botaniczną, "Świat Nauki", sierpień 1994, s. 64.

³⁸⁶ "New York Times", 26 kwietnia 1996, s. D3.

zaledwie w jednym przypadku na sto. Cierpliwie wsłuchując się w wiedzę i mądrość tubylców, Coxowi udało się zwiększyć efektywność poszukiwań do 7%. Okazało się, że aż 86% roślin analizowanych obecnie przez Coxa i naukowców z Uniwersytetu w Uppsali wykazuje znaczną aktywność biologiczną.³⁸⁸

Po przeanalizowaniu tysięcy rokujących nadzieje roślin i zwierząt następuje pracochłonny proces izolacji aktywnego czynnika z każdego z nich. W tym miejscu wkracza rewolucja komputerowa. Dawniej poszukiwano nowego leku na chybił trafił. Zazwyczaj chybiano. Na 10 tysięcy analizowanych substancji 100 wydaje się obiecujące, 10 osiąga etap prób na ludziach, by ostatecznie jedna okazała się skuteczna i została dopuszczona na rynek farmaceutyczny.

Sytuacja ta ulegnie zasadniczej zmianie w XXI wieku. Już teraz proces ten, dzięki korzystaniu ze zrobotyzowanych laboratoriów, uległ wielkiemu przyspieszeniu. Podczas gdy ręczne przetestowanie kilku tysięcy związków chemicznych na zwierzętach trwa lata, nowe, zautomatyzowane laboratoria "chemii kombinatorycznej" pozwalają przeanalizować miliony związków chemicznych w ciągu paru miesięcy, i to bez udziału jakichkolwiek zwierząt. Dzięki temu nie tylko wzrośnie efektywność wyszukiwania coraz to nowych antybiotyków, ale zostaną również znacznie obniżone koszty tego procesu, co jest bardzo istotne, zważywszy, jak pod wpływem niebotycznie rosnących cen rzadkich leków pustoszeją portfele pacjentów i chwieje się system opieki zdrowotnej w USA. (Obecnie jeden chemik może w ciągu roku zsyntetyzować około 50 nowych substancji, przy czym koszt każdej z nich waha się od 5 do 7 tysięcy dolarów. Nowe, skomputeryzowane techniki pozwalają obniżyć koszty do tego stopnia, że jedna osoba będzie mogła stworzyć 100 tysięcy nowych związków, których ceny nie będą przekraczać paru dolarów).³⁸⁹

Jak wyglądają te nowe metody robotyki w rzeczywistości? W pojedynczym teście każdy spośród 100 tysięcy badanych obiecujących związków chemicznych wprowadza się do próbek, zawierających białko lub inną substancję wywołującą chorobę. Skanery optyczne przeglądają potem wszystkie próbki w poszukiwaniu wzmożonej aktywności wewnątrz którejś z nich, na przykład wzrostu natężenia promieniowania ultrafioletowego, wskazującego na zachodzącą reakcję chemiczną. Związki, które weszły w jakieś reakcje, podlegają następnie selekcji i stają się bazą do stworzenia nowych, pokrewnych substancji, które znowu dodaje się do próbek. (Cały proces zaczyna się od nowa, przy czym za każdym razem wyłapywane są specyficzne związki wchodzące w reakcje. Edward Hurwitz, biotechnolog w firmie Robertson, Stephens & Co., nazywa to "zasadniczym przesunięciem paradygmatu w dziedzinie poszukiwania lekarstw".³⁹⁰ Po wyizolowaniu aktywnego składnika biochemicy mogą zająć się badaniem, na czym dokładnie polega jego cudowne działanie).

Już teraz uczeni otrzymują nowe antybiotyki, których działanie skierowane jest przeciwko słabym

³⁸⁷ "Discover", listopad 1993, s. 60.

³⁸⁸ Paul Allan Cox, Michael J. Balick: Poszukiwanie leków metodą etno-botaniczną, "Świat Nauki", sierpień 1994, s. 64.

³⁸⁹ "Washington Post", 14 kwietnia 1996, s. H6.

³⁹⁰ *Ibidem*.

punktom maszynerii komórki bakteryjnej. Na przykład jedna ze strategii polega na zakłócaniu procesów wytwarzania aminokwasów, podstawowych cegiełek budowy białek. Zablokowanie mechanizmów produkcji aminokwasów powoduje, że bakteria nie może się rozmnażać.

W XXI wieku skomputeryzowane metody poszukiwania antybiotyków powinny doprowadzić do pojawienia się setek nowych sposobów biomolekularnego atakowania bakteryjnych ścian komórkowych, rybosomów i innych kluczowych dla życia struktur.

Psychika a ciało

Niezliczone eksperymenty potwierdziły, że nasze nastroje, a także stres i kontakty towarzyskie, mają bezpośredni wpływ na aktywność naszego układu odpornościowego, a więc na możliwości walki z drobnoustrojami.

Na trzecim etapie rozwoju medycyny jednym z tematów wysuwających się na czoło badań biologii molekularnej będzie właśnie zależność u między ciałem a psychiką. Zależność ta, przez tradycyjną medycynę postrzegana często jako granicząca z szarlatanerią, odsłoni wkrótce swoje tajemnice dzięki użyciu metod medycyny molekularnej. Będzie można odpowiedzieć na pytanie, w jaki sposób na poziomie cząsteczkowym i komórkowym umysł wpływa na funkcjonowanie układu odpornościowego i na odwrót. W pewnym sensie, w kwestii związku psychiki z ciałem kręcimy się ciągle w kółko, ale nasze rozumienie różnych zjawisk wznosi się powoli na wyższe poziomy.

Historycznie rzecz ujmując, frustrującym problemem w badaniach nad zależnością ciało-umysł były często anegdotyczne opowieści, zawsze pełne pobocznych efektów w rodzaju placebo, siły sugestii czy innych subiektywnych doznań. Bez starannie przeprowadzonych eksperymentów, badań z udziałem grup kontrolnych i drobiazgowego zbierania danych jest rzeczą niemal niemożliwą zweryfikowanie relacji z pierwszej ręki, opowiadających o cudownych uleczeniach i remisjach chorób.

Jednakże w ciągu ostatnich paru lat obserwuje się wręcz zalew wyników solidnie prowadzonych eksperymentów i analiz, z których jasno wynika istnienie związku między psychiką a ciałem. Nie budzące wątpliwości badania, wskazujące na ścisły związek między zawałem serca a depresją, przeprowadzono w 1996 roku w Szkole Higieny i Zdrowia Publicznego Johnsa Hopkinsa. Przez trzynaście lat lekarze śledzili losy 1551 osób i stwierdzili, że prawdopodobieństwo ataku serca u osób cierpiących na stany depresyjne było czterokrotnie większe niż u pozostałych.³⁹¹ Równie przełomowe znaczenie miały trwające siedem lat obserwacje 752 mężczyzn, mieszkańców szwedzkiego Göteborga, których wyniki ogłoszono w 1993 roku. Okazało się, że wśród badanych narażonych na niezwykle silne sytuacje stresowe śmiertelność była trzykrotnie wyższa niż w grupie ludzi cieszących się spokojnym życiem, co wskazuje na bezpośredni związek długości życia ze stanem emocjonalnym człowieka. Wysoki poziom stresu jest w rzeczywistości pewniejszą przesłanką czyjejs przedwczesnej śmierci niż wysokie ciśnienie krwi lub podwyższony poziom cholesterolu czy trójglicerydów.

³⁹¹ "New York Times", 17 grudnia 1996, s. C3.

Jeszcze bardziej interesujące było odkrycie, że u ludzi prowadzących bogate życie towarzyskie, mających ożywione kontakty z przyjaciółmi, dobre stosunki ze współmałżonkiem i rodziną nie stwierdzono związku między poziomem stresu a długością życia. Wskazuje to, że kontakty społeczne pozwalają złagodzić wpływ stresu na organizm.³⁹² I rzeczywiście, śmiertelność wśród ludzi społecznie izolowanych okazała się alarmująco wysoka.

W 1991 roku naukowcy z Uniwersytetu Carnegie-Mellon wykazali, że stres może osłabić odpowiedź immunologiczną organizmu na przeziębienie. Wywołując umyślnie u studentów infekcję wirusem powodującym katar stwierdzili, że zachorowało 47% studentów narażonych na stres, podczas gdy tylko 27% zadowolonych z życia zaczęło kichać.³⁹³

W rzeczywistości bezpośrednią korelację między aktywnością leukocytów a poziomem stresu można wykazać, po prostu powtarzając kilka razy dziennie badanie krwi. W pewnym sensie układ odpornościowy może służyć jako barometr naszego stanu emocjonalnego.

W ważnej pracy z 1993 roku naukowcy z Uniwersytetu Yale przedstawili długą listę wyników badań nad związkami między ciałem a psychiką, w których potwierdzono między innymi szkodliwy wpływ stresu w cukrzycy, chorobach serca, przerzutach nowotworów, atakach astmy i chorobach jelit. Stres wpływa także na sam układ nerwowy,³⁹⁴ powodując uszkodzenia hipokampa i, co za tym idzie, również pamięci.

Niedawno przeprowadzono inne badania potwierdzające związki między poziomem stresu a innymi chorobami:

- stany zapalne w zakażeniu opryszczką powodowane przez stres,³⁹⁵
- współzależność pomiędzy rakiem okrężnicy a stresem,³⁹⁶ współzależność pomiędzy chorobami serca a poczuciem beznadziejności,³⁹⁷
- powodzenie operacji by-passu serca korelujące z optymizmem,³⁹⁸
- przeżycie drugiego zawału serca a gniew,³⁹⁹
- ryzyko zawału serca i depresja,⁴⁰⁰
- wyższa przeżywalność pacjentek z rakiem piersi uczestniczących w zajęciach grup wzajemnej

³⁹² Annika Rosengren i in.: Stressful Life Events, Social Support, and Mortality in Men Born in 1933, "British Medical Journal", październik 1993.

³⁹³ Sheldon Cohen i in.: Psychological Stress and Susceptibility to the Common Cold, "New England Journal of Medicine", 325 (1991).

³⁹⁴ Bruce McEwen, Eliot Stellar: Stress and the Individual: Mechanisms Leading to Disease, "Archives of Internal Medicine", 153 (27 września 1993); M. Robertson, J. Ritz: Biology and Clinical Relevance of Human Natural Killer Cells, "Blood", 76 (1990).

³⁹⁵ Ronald Glaser, Janice Kiecolt-Glaser: Psychological Influences on Immunity, "American Psychologist", 43 (1988); H. E. Schmidt i in.: Stress as a Precipitating Factor in Subjects with Recurrent Herpes Labialis, "Journal of Family Practice", 20 (1985).

³⁹⁶ Joseph C. Courtney i in.: Stressful Life Events and the Risk of Colorectal Cancer, "Epidemiology", 4 (5) (wrzesień 1993).

³⁹⁷ Robert Anda i in.: Depressed Affect, Hopelessness, and the Risk of Ischemic Heart Disease in a Cohort of U.S. Adults, "Epidemiology", lipiec 1993.

³⁹⁸ Chris Peterson i in.: *Learned Helplessness: A Theory for the Age of Personal Control* Oxford University Press, Nowy Jork 1993.

³⁹⁹ Carl Thoreson: International Congress of Behavior Medicine, Uppsala, Szwecja, lipiec 1990.

⁴⁰⁰ Nancy Frasure-Smith i in.: Depression Following Myocardial Infarction, "Journal of the American Medical Association", 20 października 1993.

pomocy.⁴⁰¹

Lista wyników eksperymentalnych i epidemiologicznych jest dosyć długa i została potwierdzona w krytycznych recenzjach poważnych pism medycznych.⁴⁰²

Jednym z zadań medycyny XXI wieku będzie dokładne wyjaśnienie, w jaki sposób zjawiska psychosomatyczne przebiegają na poziomie molekularnym. Z jednej strony, istnieje dobrze potwierdzony związek między naszymi emocjami a funkcjonowaniem układu wydzielania wewnętrznego. W sytuacji zagrożenia życia nasz mózg wysyła sygnały do odpowiednich gruczołów, które natychmiast zaczynają wydzielać adrenalinę, noradrenalinę i kortyzol, te zaś dostają się do krwiobiegu i przygotowują organizm do reakcji "walki lub ucieczki". Pod wpływem sygnałów z mózgu gruczoły zaczynają także wydzielać naturalne środki znieczulające w rodzaju beta-endorfiny lub enkefalinę, przygotowując organizm na ewentualny ból. Zalane tymi hormonami ciało tłumi działanie układu odpornościowego (zapewne jest to ewolucyjnie wykształcona odpowiedź organizmu na sytuacje zagrożenia, które wymagają mobilizacji sił).

W 1996 roku uczeni z Narodowego Instytutu Zdrowia Psychicznego przeprowadzili szczegółowe badania wpływu depresji na stan zdrowia kobiet (średnia wieku pacjentek wynosiła 41 lat).⁴⁰³ U kobiet cierpiących na stany depresyjne stwierdzono mniejszą o 6,5-14% gęstość kości. W ich organizmach wykryto również wysokie stężenie hormonu o nazwie kortyzol, który przyczynia się do rzeszotowania kości. U jednej trzeciej badanych kobiet stopień uszkodzenia kości odpowiadał stanowi, jaki zwykle obserwuje się po menopauzie. Jedna z teorii mówi, że depresja powoduje uwalnianie kortyzolu, który przyspiesza osteoporozę.

Inni badacze uważają, że może istnieć trójstronny związek między naszym układem odpornościowym, układem wydzielania wewnętrznego i układem nerwowym, które komunikują się ze sobą dzięki peptydom krążącym we krwi. Zapewnia to ustawiczne sprzężenie zwrotne między wszystkimi trzema układami, przy czym układ krwionośny służy jako system komunikacyjny.

Te zupełnie nowe odkrycia (większości dokonano w ciągu ostatnich pięciu lat) mogą mieć wpływ na sposób praktykowania medycyny w XXI wieku. W przyszłości lekarze będą prawdopodobnie bardziej kompleksowo analizować nasz styl życia i stany emocjonalne, sprawdzając, czy znajdujemy oparcie w naszym życiu towarzyskim, czy regularnie uprawiamy gimnastykę i czy odpoczywamy (na przykład uprawiamy jogę, medytację, wyjeżdżamy na wakacje), czy potrafimy rozładować nasz gniew i jak radzimy sobie ze stresem. Medycyna molekularna zmusi lekarzy do spojrzenia na organizm jako na złożony splot oddziałujących ze sobą układów.

Urządzenia diagnostyczne XXI wieku

Nowe osiągnięcia mechaniki kwantowej również wspomogą medycynę molekularną. Pojawi się

⁴⁰¹ David Spiegel i in.: Effect of Psychosocial Treatment on Survival of Patients with Metastatic Breast Cancer, "Lancet", nr 8668, II (1989).

⁴⁰² Należy jednak podkreślić, że wyniki przeprowadzonych niedawno badań przeczyły niektórym z tych rezultatów. Jak w każdym dociekaniu naukowym, jedynie kolejne serie badań, prowadzone na liczniejszych grupach ludzi, są w stanie udzielić ostatecznej odpowiedzi. Nauka opiera się zawsze na wynikach powtarzalnych.

⁴⁰³ "Washington Post", 17 października 1996, s. A8; "New England Journal of Medicine", październik 1996.

nowa generacja obrazujących urządzeń diagnostycznych, w tym nowe wersje MRI, CAT i PET. Już teraz te metody otworzyły przed medycyną nowe możliwości, pozwalając obserwować myślący żywy mózg i funkcjonujące wewnątrz ciała. W XXI wieku nowa generacja urządzeń obrazujących tego typu pozwoli nam na niezwykle obserwacje najdrobniejszych szczegółów żyjącego ciała, takich jak zaczopowane naczynia, mikroskopijnej wielkości guzy itp.

Podstawy działania każdego z tych urządzeń pochodzą z mechaniki kwantowej. (W tomografii komputerowej, CAT, liczne zdjęcia rentgenowskie są wykorzystywane do sporządzenia obrazów przekrojów przez żywe ciało. Kolejne zdjęcia otrzymywane są dzięki naświetlaniu organizmu pod różnymi kątami. Następnie komputer analizuje uzyskane obrazy i tworzy na ich podstawie zdjęcia, na których widoczne są przekroje badanego narządu. W metodzie tomografii emisji pozytonów, PET, stosuje się radioaktywną glukozę w celu zlokalizowania aktywnych obszarów mózgu. W częściach mózgu wykazujących zwiększoną aktywność wzrasta również zużycie glukozy, gdyż jest ona źródłem energii dla komórek mózgowych. Uczni mogą śledzić aktywność neuronów, mierząc stężenie radioaktywnej glukozy, której cząsteczki emitują łatwe do wykrycia pozytony. Obrazowanie za pomocą rezonansu magnetycznego, MRI, wykorzystuje fakt, że jądro atomu wiruje jak dziecięcy bąk. Po umieszczeniu w polu magnetycznym osie obrotu jąder ustawiają się równolegle do linii sił pola. Przykładając dodatkowe pole elektromagnetyczne o wysokiej częstotliwości, można "poprzewracać" jądra atomów do góry nogami. Podczas powrotu do pierwotnego ułożenia jądra emitują niewielką porcję energii, którą z łatwością daje się wykryć. Ponieważ różne jądra atomowe emitują nieco odmienne sygnały, potrafimy zidentyfikować rodzaje atomów obecnych w tkance).

Współcześnie rozdzielczość tych urządzeń nie jest zbyt duża. Promienie rentgenowskie są trudne do zogniskowania. Nie imponuje też rozdzielczość obrazów PET. Jednakże w XXI wieku nowa odmiana MRI, zwana obrazowaniem echoplanarnym, umożliwi otrzymywanie zdjęć z szybkością 1000 razy większą niż obecna.⁴⁰⁴ Te urządzenia wysokiej rozdzielczości będą zdolne zbierać 30 obrazów na sekundę, co odpowiada szybkości wyświetlania obrazu na ekranie telewizora. Jeśli obraz ulegnie zamazaniu przez ruch narządu lub przemieszczające się płyny ustrojowe, lekarz będzie mógł zatrzymać klatkę. Na przykład na podstawie zdjęć MRI nie można obecnie precyzyjnie określić stopnia otłuszczenia serca, ponieważ złogi tłuszczu są niewielkie, a serce jest w ciągłym ruchu, wypełnione przepływającą krwią. Nowa generacja urządzeń obrazowania echoplanarnego pozwoli wreszcie robić zdjęcia pracującego serca w bardzo krótkim czasie, dzięki czemu lekarz będzie mógł przyjrzeć się poszczególnym tętnicom i żyłom i określić, w jakim stopniu ulegają blokowaniu. To z kolei powinno przyczynić się do opanowania najpoważniejszego zagrożenia dla zdrowia w świecie zachodnim: chorób serca.

Obrazy rentgenowskie są zamglone, ponieważ trudno jest ogniskować wiązkę promieniowania rentgenowskiego i manipulować nią. Lecz w 1996 roku uczonym udało się zogniskować wiązkę

⁴⁰⁴ M. Stehling, R Turner, P. Mansfield: Echo-Planar Imaging: MRI in a Fraction of a Second, "Science" 254 (1991), s. 2-11; Clement Bezold, Jerome A. Halperin, Jacqueline L. Eng: 2020 *Visions*. U.S. Pharmaco-peial Convention Press, Rockville, Maryland 1993, s. 121.

promieni X, przepuszczając ją przez blok aluminium. Promieniowanie rentgenowskie z łatwością przenika przez aluminium, ale ulega lekkiemu ugięciu w trakcie tego procesu. To niewielkie odchylenie od początkowego kierunku uzyskuje się dzięki szeregom wąskich dziur wywierconych głęboko w bloku. Każda dziurka powoduje drobne ugięcie padającej wiązki, która po przejściu przez cały blok jest zogniskowana do plamki o średnicy sięgającej kilku milionowych części centymetra. Metoda ta jest nie tylko tańsza i skuteczniejsza od używanych dawniej technik,⁴⁰⁵ ale może też znaleźć szerokie zastosowanie w wytrawianiu płytek krzemowych oraz posłużyć do zwiększenia precyzji obrazów otrzymywanych za pomocą promieniowania rentgenowskiego.

Obecnie takich urządzeń obrazujących używa się w sytuacji, kiedy choroba już wystąpiła, do kontroli i oceny rozmiarów powstałych uszkodzeń. W przyszłości, dzięki mechanice kwantowej, pojawi się nowa generacja urządzeń diagnostycznych, za pomocą których będzie można przewidzieć potencjalne zagrożenia lata, a może nawet i dziesiątki lat przed wystąpieniem jakichkolwiek objawów.

Chyba jednak najbardziej interesującym aspektem medycyny molekularnej jest to, że sam proces starzenia się może okazać się dolegliwością uleczalną.

⁴⁰⁵ "New York Times", 19 listopada 1996, s. C9.

ŻYCIE WIECZNE?

Po czym Pan Bóg rzekł: "Oto człowiek stał się taki jak My: zna dobro i zło; niechaj teraz nie wyciągnie przypadkiem ręki, aby zerwać owoc także z drzewa życia, zjeść go i żyć na wieki". Dlatego Pan Bóg wydalil go z ogrodu Eden, aby uprawiał tę ziemię, z której został wzięty. Wygnawszy zaś człowieka, Bóg postawił przed ogrodem Eden cherubów i połyskujące ostrze miecza, aby strzec drogi do drzewa życia.

Księga Rodzaju 3,22—24 (przekład wg Biblii Tysiąclecia)

Ciało zostało tak skonstruowane, że powinno funkcjonować wiecznie.

ELLIOT CROOKE, biochemik z Uniwersytetu Stanforda

Ja nie chcę żyć wiecznie w moich dziełach. Ja chcę żyć wiecznie, nie umierając!

WOODY ALLEN

Od tysięcy lat tęsknota za wieczną młodością rozpalala wyobraźnię królów, cesarzy i zwykłych ludzi. Od najdawniejszych czasów posłańcy władców żądnych wiecznego życia wyruszali w świat w poszukiwaniu baśniowego źródła młodości. Czasami wpływało to także na bieg historii.

Dążenia te pozostały nam do dzisiaj. Pokolenie powojennego wyżu demograficznego, z jego kultem młodości, jest zdecydowane nie poddać się prawom czasu i wydało już 40 miliardów dolarów na ćwiczenia gimnastyczne i modne diety.

Zapewne każdy, kto kiedykolwiek patrzył w lustro i obserwował nieubłaganie pogłębiające się zmarszczki, obwisłe fałdy policzków i siwiejące włosy, ulegał tęsknocie za nieustającą młodością. Starość nie radość: ubywa mięśni, a przybywa tłuszczu (mężczyznom rośnie brzuszki, a u kobiet zwiększa się objętość pośladków), kości stają się bardziej kruche, następuje osłabienie układu odpornościowego i utrata żywotności.

Bogactwo, władza, uroda, wpływy - wszystko to jest bez znaczenia w obliczu starości i zbliżającego się widma śmierci. Czyli, jak powiedział Butch Cassidy do Sundance Kida: "Każdego dnia jesteś starszy. Takie jest prawo". Niestety, zagadki postępującej starości i wiecznej młodości od zawsze okryte były tajemnicą, której rąbka próbowali uchylić jedynie szarlatani i zwykli oszuści.

A jednak są prawa, według których ciało powinno żyć wiecznie. Pewne organizmy żyją nieograniczenie długo. Niektóre komórki, a nawet zwierzęta, przeciwstawiają się prawom starzenia i nie istnieje dla nich żadna mierzalna długość życia. Dlaczego zatem - skoro życie bez końca nie narusza żadnego znanego prawa biologii komórki - nie możemy pozostawać wiecznie młodzi?

Pewne zaskakujące, lecz znaczące odkrycia wskazują, że poznanie genetycznych i molekularnych przyczyn starzenia się jest już w zasięgu ręki. Snute na ślepo domysły i ludowe

podania ustępują miejsca, po raz pierwszy w historii ludzkości, solidnej wiedzy i powtarzalnym wynikom. Poruszenie wśród badaczy jest niemal namacalne. Leonard Hayflick z Uniwersytetu Kalifornijskiego w San Francisco, czasami nazywany ojcem biogerontologii, twierdzi: "Gerontologia znajduje się obecnie na etapie scalania kilku teorii w jedną spójną całość i chociaż wielu ważnych informacji ciągle nam brakuje, jesteśmy na najlepszej drodze do stworzenia biogerontologicznego odpowiednika teorii wielkiej unifikacji w fizyce".⁴⁰⁶

Niektórzy biogerontolodzy poczynili już ostrożne, ale dość rozsądnie brzmiące przepowiednie dotyczące przyszłych wydarzeń. Jeszcze przed 2020 rokiem powinniśmy oczekiwać pojawienia się ściśle monitorowanych kuracji hormonalnych, dzięki którym można będzie opóźnić, a może nawet odwrócić przebieg pewnych dolegliwości i objawów starości. Istnieją poważne zagrożenia związane z tą ryzykowną, choć obiecującą metodą. Lecz jeśli okaże się, że efekty uboczne dają się opanować, to kuracje przeciwutleniaczami i hormonami mogłyby powstrzymać niektóre skutki starzenia (choć prawdopodobnie nie wpłynęłoby to na wydłużenie czasu życia człowieka).

Jednakże po 2020 roku, kiedy dostępne będą osobiste sekwencje DNA, może otworzyć się zupełnie nowa droga. Punktem wyjścia będzie identyfikacja osławionych genów starości, o ile takie rzeczywiście istnieją. Należy podkreślić, że nie wszyscy badacze są zgodni w tej kwestii.⁴⁰⁷ A jeśli nawet geny starości naprawdę istnieją, to wyszukanie ich wśród tysięcy innych genów będzie nadzwyczaj pracochłonnym zadaniem. Niektórzy biogerontolodzy twierdzą wprawdzie, że znaleźli już takie geny u zwierząt, nie jest zatem wykluczone istnienie genów homologicznych u człowieka. Obiecującym rozwiązaniem byłoby też porównanie DNA ludzi dożywających wyjątkowo podeszłego wieku w dobrym zdrowiu. Metodami analizy komputerowej można by ustalić, czy występują u nich wspólne czynniki genetyczne.

W okresie 2020-2050 powinna pojawić się jeszcze jedna obiecująca możliwość: hodowla nowych narządów. Nie będzie pożytku z dłuższego życia, jeśli będziemy skazani na ciała podlegające bezustannej degeneracji. Już teraz skórę i niektóre inne tkanki można hodować w warunkach laboratoryjnych i planuje się w podobny sposób wytwarzać całe narządy, włączając w to nerki i serce, a może nawet całą rękę. Ostatecznie, hodowla nowych organów może stać się równie powszechna, jak obecnie przeszczepy serca czy nerek.

W poszukiwaniu źródła młodości

Niemal każda cywilizacja ma swój mit o nieśmiertelności. Starożytni Hindusi, Rzymianie i

⁴⁰⁶ Leonard Hayflick: *How and Why We Age*. Ballantine Books, Nowy Jork 1994, s. 259. Wywiad z autorem, 15 listopada 1996.

⁴⁰⁷ Wpływ genów na długość życia nie podlega dyskusji. Kontrowersyjną sprawą pozostaje natomiast, czy rzeczywiście istnieje niewielka garstka genów kontrolujących procesy starzenia się. Wielu uczonych uważa, że podczas ewolucji powstały geny "wytargowane": z jednej strony są korzystne, ale mogą jednocześnie stwarzać problemy gdzie indziej. Ewolucja może preferować jakiś gen, dzięki któremu za młodu tryskamy życiem i energią, ale na starość działanie tego genu może szkodzić naszemu organizmowi. Tak więc, jeśli nawet moglibyśmy zmodyfikować pewne geny, które by nas odmłodziły, to w dojrzałym organizmie mogłyby one przyspieszyć degradację niektórych organów ciała. Jako że ewolucja dba głównie o zdrowie osobników w wieku rozrodczym, może okazać się, że nie ma żadnego specjalnego zbioru genów, które miałyby za zadanie przedłużać życie. Jeśli tak jest w istocie, to "subtelne przestrojenie" naszych genów tak, byśmy byli zdrowsi i dłużej żyli, może okazać się nadzwyczaj trudnym procesem wymagającym skorelowania działań być może setek, jeśli nie tysięcy genów.

Chińczycy stworzyli mityczne źródła młodości, które kilkakrotnie wpłynęły nawet na bieg historii. Mity greckie zawierają najsmutniejsze ostrzeżenie dla tych, którzy chcą przechytryć naturalny bieg rzeczy. Eos, piękna bogini Jutrzenki, zakochała się w zwykłym śmiertelniku, Titynosie, i poślubiła go. Lecz bogowie pozostają wiecznie młodzi, a Titynos zaczął się starzeć. Eos błagała więc Zeusa, aby uczynił jej kochanka nieśmiertelnym. Zeus spełnił jej życzenie, ale wkrótce wyszło na jaw, jak fatalny błąd popełniła Eos: zapomniała poprosić także o wieczną młodość dla Titynosa. W końcu Titynos wysechł na wiór, skarłał i skrzekliwym głosem bezustannie mamrotał do siebie niezrozumiałe wyrazy. Tak rozgniewało to bogów, że zamienili go w świerszcza.

Opowieść o Titynosie jest niewątpliwym wyzwaniem dla współczesnej nauki. Nie wystarczy, by nauka i medycyna przedłużyły ludzkie życie, muszą także dodać żywotności naszemu ciału,⁴⁰⁸ abyśmy nie stali się społeczeństwem zniedołężniałych starców wymagających ciągłej opieki.

“Nieśmiertelni” wśród zwierząt

Zanim dokonał się przewrót w biologii molekularnej, uczeni byli zmuszeni analizować proces starzenia się, opierając się na pośrednich wskazówkach. Najbardziej oczywiste spośród nich pochodziły z królestwa zwierząt i biologii ewolucyjnej.⁴⁰⁹

Wszystkie ssaki osiągają w dojrzałym wieku określone rozmiary ciała. Są jednak takie gatunki zwierząt, dla których nie istnieje ustalona, graniczna wielkość organizmu (homary, flądry, jesiotry, rekiny i aligatory). Z czasem stają się coraz większe, nie wykazując przy tym żadnych oznak starości. Zwierzęta te są więc w pewnym sensie nieśmiertelne - procesy starzenia albo w ogóle w ich organizmach nie zachodzą, albo są tak powolne, że w warunkach laboratoryjnych nie sposób ich wykryć.⁴¹⁰ W wielu podręcznikach błędnie twierdzi się, że zwierzęta te mają określoną długość życia, podobnie jak inne gatunki zwierząt. Mylone jest tutaj pojęcie średniej długości życia z fizjologiczną długością życia. Średnia długość życia odpowiada przeciętnemu wiekowi, który osiągają organizmy danego gatunku, zanim zginą na skutek chorób, drapieżników lub głodu. Natomiast fizjologiczna długość życia odnosi się do wieku, jaki dany organizm może osiągnąć, jeśli nie będą mu zagrażać zewnętrzne przyczyny śmierci. To tylko warunki życia sprawiają, że nie spotykamy grasujących po okolicy 500-letnich aligatorów wielkości domu - giną one na skutek niebezpieczeństw związanych z życiem na wolności.

Zwierzęta te, hodowane w ogrodach zoologicznych, gdzie nie zagrażają im w zasadzie żadne zewnętrzne niebezpieczeństwa, rosną bez końca, nie wykazując niemal żadnych oznak osłabienia funkcji organizmu od chwili osiągnięcia dojrzałości płciowej. Klasycznym przykładem jest flądra.

⁴⁰⁸ Leonard Hayflick wyrażał bardzo poważne wątpliwości co do pomysłów przedłużania życia, jeśli miałyby to się łączyć z wielkim ludzkim cierpieniem. Ponadto dłuższe życie oznacza zużywanie zasobów, z których lepiej mogłyby skorzystać młodsze pokolenia (wywiad).

⁴⁰⁹ Z badań nad zwierzętami [i światem roślinnym] wynika, że istnieje zadziwiający rozrzut długości życia dla różnych gatunków. Muszki owocowe żyją jedynie 3 tygodnie. Myszy - 2 do 3 lat. Słonie żyją do 70 lat. Zgodnie z wynikami badań metodą datowania posługującą się rozpadem promieniotwórczym izotopów węgla, pewien gatunek sosny (*Pinus arista-ta*) żyje 5000 lat. Ale światowy rekord należy do krzewów kreozotowych z pustyni Mojave w Kalifornii, które przeżyły od czasów ostatniego wielkiego zlodowacenia, około 11 000 lat (Jeff Lyon, Peter Gorner: *Altered Fa-tes*. W. W. Norton, Nowy Jork 1995, s. 509).

⁴¹⁰ Hayflick: *How and Why We Age*, s. 21. Wywiad.

Samce flądry osiągają określone rozmiary ciała i starzeją się normalnie. Natomiast samice rosną bez końca i nie wykazują jakichkolwiek oznak starzenia się lub osłabienia funkcji organizmu.⁴¹¹

Obecność zwierząt, które nie mają określonej długości życia, wydaje się wskazywać na to, że geny starości jednak istnieją. W oczywisty sposób komórki organizmów tych zwierząt nigdy nie tracą ani swojej żywotności, ani zdolności do rozmnażania się.

Z czysto ewolucyjnego punktu widzenia proces starzenia się może być jednak przydatny. Natura nie ma wiele pożytku ze starzejących się osobników, mających już za sobą okres najwyższej żywotności i zdolności do reprodukcji. Takie zwierzę jest tylko ciężarem dla reszty hordy lub stada. Być może przyroda zaplanowała starzenie się i śmierć, aby cenne zasoby mogły służyć następnym pokoleniom mającym przedłużać gatunek.

Odnoszenie zjawisk obserwowanych u niżej rozwiniętych organizmów zwierzęcych do praw rządzących życiem człowieka jest zawsze ryzykowne, ale wydaje się, że nasz proces starzenia się również postępuje w zgodzie z ewolucyjnym zamiarem. Na podstawie badań kopalnych szczątków naszego przodka, australopiteka, paleontolodzy doszli do wniosku, że nasza linia oddzieliła się od innych naczelnych około 5 milionów lat temu. W ciągu tego czasu średnia długość naszego życia wzrosła dwukrotnie. W kategoriach ewolucyjnych oznacza to ogromny wzrost rozmiarów mózgu, wagi ciała i długości życia, który dokonał się w mgnieniu oka, co w świecie zwierząt jest zupełnie nadzwyczajne. Względnie krótki czas trwania tej zadziwiającej ekspansji wskazuje, lecz nie dowodzi, że długość naszego życia jest pod kontrolą zaledwie garstki genów starości.

Skoro dzielimy z szympansem 98,4% naszej puli genowej, to może systematyczne przebadanie genów odróżniających nas od tych dalekich kuzynów pozwoli zlokalizować osławione geny starości.

Ile lat miała Julia?

Pokoleniom dzieci w szkołach zapierało dech w piersiach, kiedy ku swojemu najwyższemu zdumieniu odkrywały podczas lektury *Romea i Julii* Szekspira, że Julia miała zaledwie 13 lat.

Czasami zapominamy o tym, iż przez niemal cały okres trwania gatunku ludzkiego na Ziemi życie człowieka było krótkie, nędzne i brutalne. Jest rzeczą godną pożałowania, że przez całą historię ludzkości trwało odwieczne błędne koło: z chwilą osiągnięcia dojrzałości trzeba było zacząć ciężko pracować lub polować u boku starszych, znaleźć partnera i płodzić dzieci. Zazwyczaj było ich wiele, a większość umierała we wczesnym dzieciństwie.

Jak to ujął kiedyś Leonard Hayflick: "Biorąc pod uwagę, że przez 99% czasu istnienia ludzkości średnia długość życia wynosiła zaledwie 18 lat, naprawdę zdumiewający jest fakt, iż rodzaj ludzki przetrwał już setki tysięcy lat na tej planecie".⁴¹²

Od czasów rewolucji przemysłowej, dzięki podniesieniu się poziomu higieny, wprowadzeniu kanalizacji, polepszeniu zaopatrzenia w żywność, skonstruowaniu maszyn oszczędzających ciężką pracę, zwalczaniu zarazków i nowoczesnej medycynie, średnia długość życia wzrosła

⁴¹¹ *Ibidem.*

nieprawdopodobnie. Na przełomie XIX i XX wieku Amerykanie żyli przeciętnie 49 lat. W ciągu jednego stulecia nastąpił 55-procentowy wzrost, dzisiaj średnia długość życia wynosi w Ameryce 76 lat.⁴¹³ Według Joshuy Lederberga: "Wzrost średniej długości życia w USA [...] może być przypisany niemal w całości zjawisku powstrzymania infekcji, zwalczaniu zarazków".⁴¹⁴ Obecnie najszybciej zwiększającą swoją liczebność grupą wiekową w populacji są ludzie powyżej 100 roku życia.⁴¹⁵ (Ostatnio zaobserwowano interesujące, nowe zjawisko "krzepkich staruszków"; dzięki temu może zmniejszyć się nieco obciążenie społeczeństwa związane z utrzymywaniem osób starszych).⁴¹⁶

Fizyka starzenia się

Centralną rolę w "jednolitej teorii starości" odgrywają: fizyka, teoria informacji i genetyka. Po pierwsze, zgodnie z drugą zasadą termodynamiki, w każdym układzie izolowanym rośnie nieporządek (albo: entropia). Krótko mówiąc, rzeczy się rozpadają. "Wszystko musi przeminąć" - według słów George'a Harrisona. Nasze ciała, skonstruowane przez nas urządzenia, wszystko, co stworzyliśmy, a nawet sam Wszechświat, czeka ostatecznie zagłada.

W odniesieniu do Wszechświata oznacza to, że gwiazdy wyczerpią w końcu zasoby paliwa, temperatura spadnie niemal do zera absolutnego i powstanie ponury kosmos umarłych gwiazd, czarnych dziur i zimnego, bezkształtnego gazu. Przeznaczeniem Wszechświata jest stan maksymalnego chaosu.⁴¹⁷

W naszych ciałach wzrost entropii objawia się utratą informacji. Za każdym razem, kiedy komórki dzielą się albo zostają narażone na działanie trujących związków chemicznych, powstają drobne błędy w naszym DNA, kumulujące się aż do stanu, kiedy komórka traci zdolność do samonaprawy oraz normalnego funkcjonowania. Ostatecznie druga zasada termodynamiki zdobywa władzę nad naszymi komórkami i starość staje się nieuchronna. W miarę jak rośnie entropia, narastająca utrata informacji powoduje, że komórki tracą żywotność. Hayflick nazywa to molekularnym figlem,⁴¹⁸ który płała nam starzejący się organizm, gromadząc stopniowo błędy w materiale genetycznym, przez co powoli zmniejsza się sprawność naszych komórek. Starość może być postrzegana jako utrata zdolności naprawiania uszkodzeń na poziomie molekularnym.

Skoro druga zasada termodynamiki należy do żelaznych praw fizyki, to na pierwszy rzut oka wszelkie próby walki ze starością są skazane na niepowodzenie. Ale w prawie tym jest pewna

⁴¹² Hayflick: *How and Why We Age*, s. 86.

⁴¹³ Lyon, Gorner: *Altered Fates*, s. 516.

⁴¹⁴ "New York Times", 27 stycznia 1996, s. 21.

⁴¹⁵ Randolph M. Nesse, George C. Williams: *Why We Get Sick*. Random House, Nowy Jork 1994, s. 108.

⁴¹⁶ Badania przeprowadzone w Stanach Zjednoczonych na grupie 20 tysięcy osób w wieku powyżej 65 lat wykazały, że w kolejnych pokoleniach coraz mniej ludzi cierpi na przewlekłe schorzenia. Dla tej samej grupy wiekowej w każdym następnym pokoleniu spotyka się coraz mniej chorób wieku starczego. Już teraz ma to wielki wpływ na wydatki systemu ubezpieczeń zdrowotnych. Dr Kenneth Manton z Uniwersytetu Duke'a wykazał, że gdyby starsi ludzie w roku 1995 cierpieli na tyle samo chorób, co ludzie w tej samej grupie wiekowej w roku 1982, w 1995 roku koszty leczenia ponoszone przez system Medicare byłyby wyższe o 200 miliardów dolarów!

⁴¹⁷ Zakładamy tutaj, że nasz Wszechświat nie zawiera wystarczająco wiele materii na to, by odwrócił się kierunek ekspansji wywołanej Wielkim Wybuchem. Choć dotychczas zgadza się to z danymi eksperymentalnymi, kwestia pozostaje otwarta, gdyż nie wiemy, ile ciemnej materii istnieje we Wszechświecie.

⁴¹⁸ Leonard Hayflick: wywiad z autorem, 15 listopada 1996.

furtka: obowiązuje ono tylko w układach izolowanych. Oznacza to, że możemy dobić targu: zmniejszymy entropię w jednym miejscu (i odwrócimy procesy starzenia się) kosztem jej wzrostu gdzie indziej, tak by całkowita entropia zwiększyła się.

Dla przykładu, pojawienie się na świecie dziecka wiąże się z ogromnym spadkiem entropii. Jest on jednak kompensowany przez chaos, jaki powoduje przyjście na świat nowego potomka (stres dla organizmu matki, zwiększone zużycie jedzenia oraz wszelkich innych zasobów potrzebnych do urodzenia dziecka). Innymi słowy, lukę w drugiej zasadzie termodynamiki mogłyby też wykorzystywać geny starości, naprawiając kumulujące się z upływem czasu szkody na poziomie molekularnym.

Starość: po prostu rdzewiejemy

Kiedy ludzie w średnim wieku zaczynają narzekać na sztywne stawy i ból mięśni, twierdząc, że "rdzewieją", są bliżsi prawdy, niż im się wydaje.

Jedną z najważniejszych koncepcji dotyczących starości jest teoria utleniania, według której u podstaw starzenia kryją się te same procesy, które są odpowiedzialne za rdzewienie żelaza, pokrywanie się srebra patyną i palenie się ognia - czyli utlenianie, proces korozji napędzany energią chemiczną zawartą w tlenie, tym samym tlenie atmosferycznym, którym oddychamy. Utlenianie jest jednym z istotnych procesów, w których przebiegu przejawia się działanie drugiej zasady prawa termodynamiki w naszych organizmach.

Z jednej strony, utlenianie jest źródłem energii dla naszego ciała. Gdy bierzemy głęboki oddech, nasze płuca napełniają się powietrzem zawierającym tlen, który trafia stamtąd do wszystkich komórek organizmu, gdzie w reakcji z różnymi związkami powstaje ATP (adenozynotrójfosforan), będący nośnikiem energii potrzebnej do pracy mięśni i ruchów ciała.

Istnieje wszakże ciemna strona tego procesu. Niekontrolowany proces utleniania sieje spustoszenie w naszym ciele, wytwarzając wolne rodniki, które uszkadzają komórkę jak klucz francuski wrzucony pomiędzy tryby precyzyjnej maszyny. Krótko żyjące wolne rodniki, cząsteczki niezwykle reaktywne, potrafią wręcz rozrywać białka i kwasy nukleinowe, niszcząc subtelne mechanizmy funkcjonowania całej komórki.

Na fakt, że starzenie się może być powiązane z procesami utleniania, zwrócił po raz pierwszy uwagę R. Gerschman w 1954 roku, a rozwinął tę koncepcję Denham Harman z Uniwersytetu Nebraski. Badacze ci doszli do wniosku, że jeśli istotnie starzenie się jest powodowane reakcjami utleniania, to procesy te powinny ulec spowolnieniu w wyniku neutralizującego działania przeciwutleniaczy. Do najczęściej spotykanych antyoksydantów należą witaminy E, C, i A, a także beta-karoten, dysmutaza nadtlenkowa (SOD), katalaza oraz peroksydaza glutationowa.⁴¹⁹

Przeciwutleniacze powszechnie występują zarówno w naszym organizmie, jak i w pożywieniu. (Związki takie dodaje się często do produktów zbożowych i pieczywa; ich zadanie polega na spowolnieniu procesów utleniania, w wyniku których produkty te czerstwieją lub jełczeją).

⁴¹⁹ Hayflick: *How and Why We Age*, s. 244.

Na podstawie dobrze zaprojektowanych eksperymentów wykazano, że przedstawiciele niektórych gatunków (myszy, muszki owocowe, szczury, nicienie, wrotki i pleśń zwana neuro-sporą) mogą żyć dłużej dzięki spożywaniu dużych ilości antyoksydantów, które pozwalają przedłużyć życie myszy nawet o 30%. Zwierzęta poddawane takim zabiegom nie stają się zgrzybiałe jak nieszczęsny Tironos. Badania wykazały, że antyutleniacze powstrzymują procesy rakotwórcze, chronią przed chorobami sercowo-naczyniowymi i schorzeniami układu nerwowego oraz odpornościowego.⁴²⁰

Łatwo weryfikowalną konsekwencją teorii utleniania jest podwyższone stężenie wolnych rodników, jakie powinno występować u zwierząt krótko żyjących. Badania laboratoryjne potwierdziły te przypuszczenia.

Teoria utleniania lub wolnych rodników jako przyczyn starzenia może dostarczyć nam ważnych przesłanek co do sposobu, w jaki w naszych ciałach kumulują się uszkodzenia na poziomie molekularnym. Ale ciągle pozostaje pytanie: jak możemy spowolnić te procesy lub wręcz im zapobiec?

Przed rokiem 2020: hormony - eliksir życia?

Najmniej bolesnym i medycznie najlepiej uzasadnionym sposobem przedłużenia naszej egzystencji (i uchronienia kraju przed bankructwem z powodu niebotycznych wydatków na opiekę zdrowotną) jest prowadzenie zdrowego trybu życia, tzn. niepalenie, regularna gimnastyka oraz niskotłuszczowa, pozbawiona cholesterolu i bogata w błonnik dieta. Kolejne badania wykazują, że Amerykanie przywiązują coraz mniej wagi do trybu życia, co prowadzi do występowania mnóstwa chronicznych dolegliwości.

Z drugiej strony, medycyna powoli zmienia opinię o jednym z bardziej pogardzanych działów biogerontologii, a mianowicie o kuracjach hormonalnych. Według tradycyjnych poglądów leczenie hormonami jest polem do popisu dla wszelkiego rodzaju szarlatanów, dziwaków i zwykłych oszustów. Historia kuracji hormonalnych, pełna niedorzeczności głoszonych przez osobników podejrzanego autoramentu, znaczone jest kolejnymi skandalami oraz pełna zabawnych, często groteskowych zdarzeń.

W latach dwudziestych kaznodzieja John Brinkley, znany również jako Doc (od ang. skrótu słowa *doctor*), barwna postać fundamentalizmu protestanckiego, twierdził, że przeszczep jąder kozła lub innego zwierzęcia może przywrócić młodość. Tysiące starszych panów, usłyszawszy o metodach Brinkleya dzięki założonej przez niego rozgłośni radiowej, rozpoczęło istną pielgrzymkę do jego kliniki w Kansas. Stał się dzięki temu bogaty i zyskał taki rozgłos, że wystartował nawet w wyborach na gubernatora stanu Kansas (w których zresztą przegrał).

Jednakże dzięki serii nowych badań terapie hormonalne stają się pełnoprawną dziedziną naukową. Przy sięgającym 2 milionów dolarów wsparciu finansowym Narodowego Instytutu Starzenia w Narodowych Instytutach Zdrowia dziewięć grup badawczych prowadzi obecnie

⁴²⁰ *Ibidem*, s. 246.

badania nad czynnikami troficznymi, takimi jak hormony promujące wzrost oraz funkcjonowanie tkanek.

Wydaje się, że jeszcze przed 2020 rokiem nastąpi rozkwit terapii hormonalnych.⁴²¹ Mogą się one okazać potężnym narzędziem w usuwaniu zmian wywoływanych wiekiem oraz w walce z chorobami wieku starczego (choć najprawdopodobniej nie wpłyną na wydłużenie czasu życia).

Wiadomo już, że estrogen chroni kobiety w wieku rozrodczym przed wieloma chorobami i objawami starzenia się. W okresie menopauzy poziom estrogenu obniża się, kości stają się słabsze i nasilają się skłonności do chorób serca. Biolodzy ewolucyjni wyciągnęli stąd wniosek, że natura nie przewidziała długiego życia dla kobiet po menopauzie. Charles Hammond z Centrum Medycznego Uniwersytetu Duke'a przypomniał bez ogródek: "Na początku tego wieku kobiety umierały wkrótce po ustaniu czynności jajników".

Już teraz estrogen jest najczęściej przepisywanym lekiem w USA, a równocześnie jednym z najbardziej szczegółowo badanych. Słynny raport o stanie zdrowia pielęgniarek (*Nurses Health Study*), zawierający wyniki dziesięcioletnich obserwacji 120 tysięcy przedstawicielek tego zawodu, wskazuje, że kobiety, które brały estrogen w czasie menopauzy, dwa razy rzadziej zapadały na choroby serca niż te, które estrogenu nie przyjmowały.⁴²² W innej serii badań wykazano, że u starszych kobiet estrogen redukuje o 50% niebezpieczeństwo złamania kości biodrowej, poprawia pamięć, o 55% zmniejsza ryzyko wystąpienia raka okrężnicy i przeciwdziała utracie kolagenu, dzięki któremu skóra jest jędrna i gładka.⁴²³

Co więcej, przewrót w biologii molekularnej pozwolił również zrozumieć działanie hormonów takich jak estrogen. Ich cudowny wpływ związany jest ze stymulacją genów określonych grup komórek do produkcji pewnych białek (na przykład prolaktyny), spełniających specyficzne funkcje w organizmie. Innymi słowy, hormony służą do "włączania" niektórych genów w komórkach ciała.

Rak a starość

Istnieje wszakże i ciemna strona kuracji estrogenem, a mianowicie wzrost ryzyka zachorowania na raka piersi. Z badań Amerykańskiego Towarzystwa Nowotworowego przeprowadzonych wśród 240 tysięcy kobiet wynika, że przyjmowanie estrogenu przez co najmniej 6 lat zwiększa ryzyko raka jajnika o 40%, a stosowanie go przez 11 lat lub więcej podnosi próg ryzyka nawet o 70%.⁴²⁴

Na razie decyzja o zastosowaniu kuracji hormonalnej polega na wyborze mniejszego zła między spowolnieniem objawów starzenia się a wzrostem ryzyka zachorowania na raka. Źródeł tego stanu rzeczy należy doszukiwać się bezpośrednio w prawach fizyki i biologii molekularnej. Działanie hormonów takich jak estrogen polega na przyspieszeniu przemian metabolicznych w komórce oraz zwiększeniu jej możliwości reprodukcyjnych, co powoduje też przyspieszenie działania całego

⁴²¹ Hayflick sądzi, że przedsięwzięcie tych środków może zapobiec wielu chorobom i chwilowo obniżyć roczne statystyki zgonów. Jednak w sumie, kiedy ludzie osiągną maksymalną długość życia, i tak zaczną umierać, nawet przy stosowaniu tych terapii (wywiad).

⁴²² *Ibidem*.

⁴²³ *Ibidem*.

⁴²⁴ *Ibidem*.

skomplikowanego mechanizmu genetycznego komórki. Ale w ten sposób rośnie również prawdopodobieństwo pojawiania się błędów podczas podziałów i funkcjonowania komórki.

Wyobraźmy sobie silnik rozpędzony do granic możliwości. Im większe obciążenie, tym większe zużycie maszyny. Podobnie im większa jest pod wpływem kuracji hormonalnej żywotność komórek, tym bardziej nasilają się nieuchronnie z tym związane procesy utleniania, rośnie produkcja wolnych rodników oraz tempo powodowanych przez nie mutacji, prowadzących do utraty informacji i zmian nowotworowych.

Mówiąc inaczej, starość może być ceną, jaką płacimy za ochronę przed rakiem. V. K. Cristofalo z Centrum Badań Gerontologicznych Akademii Medycznej w Pensylwanii ujmuje rzecz następująco: "Każda komórka w twoim ciele jest jak laseczka dynamitu. Jeśli stanie się komórką nowotworową, jesteś skończony. Aby przetrwać jako gatunek, musieliśmy wytworzyć mechanizmy pozwalające trzymać podziały komórkowe pod kontrolą tak długo, aż zdążymy mieć potomstwo".⁴²⁵

Myszy, na przykład, starzeją się 30 razy szybciej niż człowiek, ale też trzydziestokrotnie wyższa jest u nich zapadalność na choroby nowotworowe.⁴²⁶

Istnieją wszakże pewne sposoby obniżenia ryzyka choroby nowotworowej. Zgodnie z wynikami pewnych badań, zmniejszając dawki estrogenu i podając w zamian inny hormon, progesteron, można zminimalizować niebezpieczeństwo wystąpienia raka piersi. Jednak Isaac Schiff z Głównego Szpitala stanu Massachusetts stwierdza otwarcie: "W zasadzie, w zamian za obniżenie ryzyka zawału serca w wieku 70 lat oraz złamania kości biodrowej koło osiemdziesiątki możemy zaproponować kobietom wzrost ryzyka zachorowania na raka piersi w wieku 60 lat. Jak można podjąć taką decyzję w imieniu pacjentki?".⁴²⁷

Przy 19 milionach męskich przedstawicieli wyżu demograficznego, którzy w ciągu następnej dekady dobiją pięćdziesiątki, pojawi się także gwałtownie rosnące zainteresowanie problemami starzenia się mężczyzn. Już obecnie mężczyźni stanowią jedną czwartą pacjentów gabinetów chirurgii plastycznej (chodzi głównie o przeszczepy włosów oraz odsysanie tłuszczu).⁴²⁸ Jednakże największe zainteresowanie budzą kuracje hormonalne z użyciem testosteronu, męskiego hormonu płciowego.

Męski okres przekwitania przebiega bardziej subtelnie niż menopauza u kobiet. Zamiast dość gwałtownego pogorszenia się stanu zdrowia kobiety po pięćdziesiątce, u mężczyzn poziom testosteronu spada mniej więcej o 1% rocznie począwszy od 40 roku życia. Wiadomo także, że testosteron potrafi dodać wigoru starzejącemu się mężczyźnie. U mężczyzn cierpiących na niedobór testosteronu (tak zwany hipogonadyzm) obserwuje się pogorszenie stanu kości i mięśni oraz brak energii i popędu seksualnego. Joyce Tenover z Wydziału Medycyny Uniwersytetu Emory wykazała w pracy z 1992 roku, że kuracja testosteronem przyniosła u 13 starszych panów przyrost masy mięśniowej, wzrost ogólnej witalności i zmniejszenie ubytków w kościach.

⁴²⁵ *Ibidem*, s. 514.

⁴²⁶ *Ibidem*, s. 515.

⁴²⁷ *Ibidem*

⁴²⁸ "Newsweek", 16 września 1996, s. 75.

Źródło znacznej części wiedzy o ubocznych efektach terapii testosteronem jest dość niezwykle: pochodzi od kulturystów, o których powszechnie wiadomo, że wstrzykują sobie duże ilości silnych związków chemicznych, w zależności od panującej aktualnie mody. Uboczne skutki podawania dużych dawek testosteronu są dobrze znane: powiększone piersi, bezpłodność (nadmierne dawki testosteronu były brane pod uwagę jako potencjalny środek antykoncepcyjny), rak (pod postacią guzów prostaty) i zagęszczenie krwi (co zwiększa ryzyko udaru).

Do roku 2020 uczeni będą szukać sposobów zaradzenia ubocznym efektom kuracji silnymi hormonami. Na szczęście takich metod jest wiele. Niewykluczone, że terapia genowa okaże się środkiem zapobiegawczym przeciwko nowotworom. Bardziej praktyczną metodą byłoby zastosowanie rzeczywistości wirtualnej do modelowania białek podlegających kontroli podawanych hormonów, tak by uzyskać pewność, że cząsteczka hormonu wywoła tylko pożądany efekt, bez skutków ubocznych. Oznacza to projektowanie cząsteczek-kluczy, pasujących tylko do jednego molekularnego zamka.

Ryzykowne zagrania

W 1997 roku Narodowy Instytut Starzenia, zaalarmowany pojawieniem się na rynku nieprzebadanych hormonów "przeciwko starości", dał nawet ogłoszenie prasowe ostrzegające przed tymi środkami. Jedną z tych kontrowersyjnych terapii wykorzystuje ludzki hormon wzrostu, HGH (*human growth hormone*). Dawniej dostępne były jedynie bardzo niewielkie ilości HGH, otrzymywanego z przysadek osób zmarłych. Jednakże od 1985 roku biolodzy potrafią produkować, za pomocą genetycznie zmodyfikowanych bakterii, duże ilości ludzkich hormonów, z insuliną i ludzkim hormonem wzrostu włącznie. W 1990 roku Daniel Rudman, profesor medycyny z Akademii Medycznej w Wisconsin w Milwaukee, poddał dwunastu zdrowych, starzejących się mężczyzn trwającej 6 miesięcy kuracji zastrzykami tego hormonu. Rudman twierdził, że efekty pojawiły się natychmiast - miejsce uchodzące z wolna życia zajęła pełna sił witalnych młodość.

Jednym z pierwszych uczestników eksperymentów Rudmana był emerytowany mechanik samochodowy, Fred McCullough. -Poczułem się znowu jak nastolatek. Naprawdę! Ludzie, nigdy w życiu nie czułem się tak silny!" - twierdził McCullough, mimo że w czasie trwania eksperymentu miał już 65 lat. Obwisła skóra stała się jędrna jak u młodzieńca. Tłuszcz zniknął. Zwiotczałe mięśnie stwardniały. Wewnętrzne narządy, których stan nie był już najlepszy, odzyskały dawne rozmiary i żywotność.⁴²⁹ Jego niezwykła historia jest typowa dla uczestników tego eksperymentu. Raport Rudmana stał się wkrótce przyczyną szybkiego rozwoju czarnego rynku hormonu wzrostu, wywołując zainteresowanie zwłaszcza wśród atletów, kulturystów i ludzi tęskniących za odmłodzonymi, odnowionymi ciałami.

Jednakże próby powtórzenia pionierskich osiągnięć Rudmana powiodły się jedynie częściowo. W 1996 roku Maxine Papadakis z Uniwersytetu Kalifornijskiego w San Francisco poddała próbom grupę 52 mężczyzn w wieku 70 lat lub starszych. Zgodnie z oczekiwaniami zaobserwowano

⁴²⁹ Lyon, Gerner: *Altered Fates*, s. 508.

czteroprocentowy przyrost masy osłabionych wiekiem mięśni oraz trzynastoprocentowy ubytek tłuszczu. Jednakże ważniejsze od samej objętości mięśni są inne czynniki - siła, wytrzymałość oraz sprawność umysłowa. Pod tym względem nie uzyskano żadnej poprawy, natomiast zaobserwowano szereg przykrych skutków ubocznych, jak obrzmienie kostek, ból stawów i sztywność rąk. "To nie jest źródło młodości" - orzekła Papadakis.⁴³⁰ "Nie możemy tego polecać" - doszli do wniosku jej współpracownicy.⁴³¹

Innym popularnym hormonem jest DHEA (dehydroepian-drosteron), steryd wydzielany przez gruczoły nadnerczy, którego ilość wzrasta w okresie dojrzewania, a zaczyna spadać w wieku 25-30 lat. Chociaż związek ten odkryto już w 1934 roku, dopiero niedawno dostrzeżono jego działanie jako środka przeciwko nowotworom i procesom starzenia się. U myszy DHEA obniża ryzyko raka piersi, wpływa na wydłużenie czasu życia i podwyższa ogólną żywotność. Sceptycy wskazują jednak, że pod wpływem DHEA myszy jedzą mniej, być może więc to niskokaloryczna dieta (a nie sam hormon) jest w rzeczywistości odpowiedzialna za spadek częstości występowania nowotworów i wydłużenie okresu życia.⁴³² Dalsze badania powinny wyjaśnić tę sprawę.

Arthur Schwartz, mikrobiolog, zajmuje się badaniami nad DHEA od 15 lat i uważa, że hormon ten jest potencjalnym środkiem w zapobieganiu nowotworom okrężnicy. "U zwierząt jego przeciwnowotworowe działanie nie podlega dyskusji. Jeśli podobnie funkcjonuje u człowieka, to odkryliśmy coś naprawdę istotnego" - uważa Schwartz.⁴³³

Badania przeprowadzone na Uniwersytecie Kalifornijskim w San Diego w 1995 roku na grupie 16 starszych osób wykazały, że pod wpływem DHEA ogólny stan zdrowia i samopoczucie pacjentów poprawiły się o 75%. Zwiększając poziom DHEA do wartości występującej u trzydziestolatka, naukowcy doprowadzili do ustąpienia bólów stawów, poprawy jakości snu, polepszenia sprawności ruchowej oraz (wyłącznie u mężczyzn) przyrostu masy ciała.⁴³⁴

Ponieważ DHEA podnosi poziom hormonów płciowych w organizmie, najczęściej przyjmuje się, że jego "magiczne" działanie polega na stymulacji wytwarzania tych hormonów. (Jeśli istotnie tak jest, to DHEA może wywoływać te same poważne skutki uboczne, jakie obserwuje się w przypadku kuracji hormonami płciowymi).

Mniej obiecującym hormonem wydaje się melatonina. Związek ten wydzielany jest w szyszynce i odgrywa rolę w kontroli rytmu snu. Większość badań klinicznych nad melatoniną koncentrowała się na jej wpływie na efekt tak zwanego *jet lag*⁴³⁵ oraz jej związku z bezsennością i innymi zaburzeniami snu. Jednak poziom melatoniny spada w średnim wieku, toteż znaleźli się tacy,

⁴³⁰ "New York Times", 15 kwietnia 1996, s. A13.

⁴³¹ Co wpłynęło na taką rozbieżność wyników? Według Papadakis powodem było to, że Rudman nie przeprowadził ślepej próby. Pacjenci w grupie Rudmana wiedzieli, że przyjmują hormon wzrostu, i może siła sugestii, czyli efekt placebo, wpłynęła na wyniki.

Tak więc wydaje się, że hormon wzrostu ma znikomy wpływ na konstytucję ciała. Owszem, powoduje nawrót sił, ale nie usprawnia działania organizmu. Poza tym wywołuje skutki uboczne, jak obrzęk niektórych tkanek, pogorszenie stanu zdrowia u cukrzyków i zastoinową niewydolność serca ("New York Times", 18 lipca 1995, s. C1).

⁴³² Hayflick: *How and Why We Age*, s. 232.

⁴³³ Lyon, Gerner: *Altered Fates*, s. 514.

⁴³⁴ "Science News", 24 czerwca 1995.

⁴³⁵ *Jet lag* to uczucie rozbicia po gwałtownej zmianie rytmu dnia i nocy, wywołanej np. lotem międzykontynentalnym (przyp. tłum.).

którzy przedwcześnie twierdzili (w kilku bestsellerach), że melatonina opóźnia procesy starzenia.

Prawdopodobnie opinie te były mocno przesadzone. Podczas konferencji zorganizowanej przez Narodowe Instytuty Zdrowia w 1996 roku lekarze stanowczo skrytykowali powszechne zainteresowanie, jakim cieszy się ten modny hormon (jedyne dostępne bez recepty i nie posiadający akceptacji Komisji ds. Żywności i Leków). Richard J. Wurtman z MIT, autor opublikowanych w 1994 roku wyników badań nad melatoniną i snem, które niespodziewanie stworzyły nową modę, skrytykował ten brak nadzoru nad stosowaniem melatoniny słowami: "Nikt nie pilnuje tego interesu".⁴³⁶

Jak dotąd, spekulacje prześcigają fakty. Modę na melatoninę rozpętały głównie barwne opowieści, gdyż podwójnie ślepych prób klinicznych w tej dziedzinie praktycznie nie było. Pokolenie wyżu demograficznego odgrywa właściwie rolę królików doświadczalnych, testujących na sobie te niesprawdzone kuracje. W przyszłości zapewne pojawią się kolejne sensacyjne doniesienia, że jakiś hormon jest eliksirem młodości, bo jego poziom spada z wiekiem. Jednakże, jak podkreśla Hayflick, w ludzkim organizmie poziom wszystkich hormonów obniża się w miarę upływu lat.⁴³⁷ Nie jest to zatem żaden dowód, że hormony są źródłem wiecznej młodości. Nie jest nawet jasne, czy niższe stężenie hormonów jest przyczyną starzenia się, czy raczej skutkiem tego procesu.

Po roku 2020: wszystko tkwi w naszych genach

Wydaje się, że i po 2020 roku uczeni będą poszukiwali genów starości, odpowiedzialnych za opóźnianie lub naprawę pojawiających się z wiekiem, zgodnie z drugim prawem termodynamiki, uszkodzeń i błędów. Zakładając, że geny takie istnieją i uda się je wyizolować, być może terapia genowa pozwoli zatrzymać procesy starzenia się, a maksymalna długość życia wzrośnie.

Michael Rose z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Irvine dostarczył intrygującej przesłanki, która może przyczynić się do rozwiązania zagadki starości. Dzięki selektywnej hodowli i krzyżowaniu udało mu się przedłużyć czas życia muszek owocowych o 70%. "To właśnie dzięki temu nasza dziedzina staje się teraz ekscytująca - robimy rzeczy, które się sprawdzają" - twierdzi Rose. Jego "supennuchy" były również fizycznie silniejsze niż zwykłe muszki owocowe. Godny uwagi jest fakt, iż Michael Rose wykrył również, że osobniki długowieczne wytwarzały więcej przeciwutleniacza, dysmutazy nadtlenkowej, która neutralizuje działanie niebezpiecznych wolnych rodników nad tlenkowych. Czy muszki żyły dłużej dlatego, że były zdolne oprzeć się szkodliwym skutkom utleniania?

Thomas Johnson, biolog z Instytutu Genetycznych Podstaw Zachowania Uniwersytetu w Kolorado, zaskoczył w 1991 roku świat naukowy oświadczeniem, że po raz pierwszy w historii udało się zmienić długość życia pewnego organizmu technikami inżynierii genetycznej. Wyizolował on u pewnego gatunku nicienia nowy gen, któremu optymistycznie nadał nazwę *age-1*. Manipulując tym genem, potrafił przedłużyć trzytygodniowy okres życia robaka o 110% - oszałamiające osiągnięcie, które miało raz na zawsze dowieść, że przynajmniej u niektórych

⁴³⁶ "Washington Post", 20 sierpnia 1996, s. 7.

organizmów istnieją geny wieku, które można kontrolować.

“Jeśli coś takiego jak gen *age-1* istnieje także u człowieka, moglibyśmy robić naprawę niesamowite rzeczy” - sądzi Johnson.⁴³⁸ Na razie zamierza sprawdzić, czy w genomie człowieka występuje odpowiednik genu *age-1*.

Inni uczeni również uzyskali zachęcające wyniki. Cynthia Kenyon z Uniwersytetu Kalifornijskiego w San Francisco wykazała, że u nicienia *Caenorhabditis elegans* mutacja genu *daf-2* powodowała ponad dwukrotny wzrost długości życia (42 dni w porównaniu z osiemnastodniową normą). Twierdziła także, iż zmutowane robaki “wyglądały na całkiem zadowolone i zdrowe” w wieku, w którym ich nie zmutowani towarzysze umierali ze starości.⁴³⁹

Siegfried Hekimi z Uniwersytetu McGilla w Montrealu wyhodował robaki, które żyły pięć razy dłużej niż normalnie, wynik rekordowy w świecie zwierząt. “Jeśli chodzi o robaki, to właśnie niemal osiągnęły nieśmiertelność” - twierdzi Hekimi. Udało mu się wyizolować cztery geny, które spowalniały nie tylko starzenie się, ale wszystkie funkcje organizmu robaka: jedzenie, podziały komórek i szybkość pływania. Hekimi nazwał te geny -genami zegarowymi”.

Odwrócić starzenie się: od zwierząt do człowieka

Jednak ekstrapolacja wyników dotyczących robaków na człowieka kryje w sobie duże ryzyko. Organizm nicienia składa się z zaledwie 959 komórek somatycznych. Ale - jak podkreśla Tom Johnson z Uniwersytetu w Kolorado - “spośród 8 tysięcy genów znalezionych dotychczas u tego robaka, 40% posiada odpowiedniki u człowieka”.⁴⁴⁰ W rzeczywistości geny robaka i człowieka są sobie tak bliskie, że ludzkie geny potrafiły przywrócić normalne funkcjonowanie zmutowanych genów robaka.

Siegfried Hekimi uważa, że działanie genów zegarowych polega na spowolnieniu tempa przemian metabolicznych u robaka, redukując tym samym liczbę uszkodzeń w tkankach. Argument ten znajduje potwierdzenie w wynikach badań nad drożdżami piekarskimi prowadzonych przez S. Michaela Jazwińskiego z Centrum Medycznego Uniwersytetu Stanu Luizjana. Zidentyfikował on kilka genów, które zdają się wpływać na długość życia drożdży. Najlepiej zbadanym spośród nich jest gen o nazwie *LAG1* (od ang. *longevity assurance gene 1*), który po wprowadzeniu do starszych komórek drożdży powodował wydłużenie czasu życia o jedną trzecią. Co więcej, Jazwiński znalazł coś, co wygląda na odpowiednik tego genu w genomie ludzkim i przypuszcza, że wykorzystanie takiego homologu pozwoli zwiększyć długość życia ludzkich komórek.

Odkryto również gen kodujący dysmutazę nadtlenkową, wspomniany wcześniej enzym o silnych własnościach przeciw-utleniających. Gen ten leży w odległości mniej więcej 4 milionów par zasad od najbardziej zewnętrznego markera chromosomu 21, oznaczonego symbolem *D21S58*. Rodniki o charakterze nadtlenków wchodzą w organizmie w reakcje z nadtlenkiem wodoru, w wyniku czego powstają toksyczne jony hydroksylowe, o których wiadomo, że uszkadzają geny i niszczą

⁴³⁷ Wywiad z Leonardelem Hayflickiem.

⁴³⁸ Lyon, Gorner: *Altered Fates*, s. 521.

⁴³⁹ “New York Times”, 7 grudnia 1993, s. C13.

całe komórki.⁴⁴¹ Prawdopodobnie istnieje związek między teorią wolnych rodników a teorią genów: geny kontrolują produkcję przeciwutleniaczy, których obecność chroni DNA przed uszkodzeniami powstającymi wskutek utleniania.⁴⁴² James Fleming z Instytutu Linusa Paulinga w Pało Alto w Kalifornii potwierdził tę teorię eksperymentalnie, gdy udało mu się przedłużyć życie muszek owocowych przez wprowadzenie dodatkowej kopii genu kodującego dysmutazę nadtlenkową.⁴⁴³

Przytoczone wyniki badań stanowią pierwszy krok w kierunku zunifikowanej teorii starości, obejmującej DNA, utratę informacji, utlenianie i geny.

Jak długo możemy żyć?

Być może najlepszym sposobem znalezienia odpowiedzi na pytanie, czy długość życia ludzkiego jest determinowana genetycznie, jest sprawdzenie, czy cecha ta jest dziedziczna. Wyniki pierwszych z wielu szeroko zakrojonych badań nad dziedziczeniem długowieczności opublikował w roku 1934 Raymond Ruth Pearl. Uczniowie wykryli, że 87% dziewięćdziesięcio- i stułatków miało przynajmniej jednego rodzica, który przekroczył siedemdziesiątkę.^{444, 445}

Jednym z bardziej przekonujących testów na dziedziczność genu wieku jest obserwacja bliźniąt jednojajowych. Badania wykazały, że identyczne bliźnięta umierają zwykle w odstępie nie większym niż 3 lata. (Natomiast długość życia bliźniąt dwujajowych tej samej płci może się różnić o 6 lat i więcej). Wielu biogerontologów sądzi, że świadczy to o słabym, niemniej jednak zauważalnym związku między długowiecznością a dziedziczeniem.

Podobnie, istnieją przedziwne choroby dziedziczne, jak progeria wieku dziecięcego czy zespół Wernera, w których następuje gwałtowne przyspieszenie procesu starzenia się. Śliczne cherubinki w ciągu zaledwie paru lat zmieniają się w zgrzybiałych, zniedołężniałych starców. W badaniach nad tymi rzadkimi schorzeniami⁴⁴⁶ wykryto nienormalny poziom helikazy, enzymu odgrywającego istotną rolę w naprawie DNA.⁴⁴⁷ Po raz kolejny wydaje się, że procesy starzenia są bezpośrednio związane z brakiem możliwości naprawy DNA.

⁴⁴⁰ *Ibidem*.

⁴⁴¹ *Ibidem*.

⁴⁴² Lyon, Gorner: *Altered Fates*, s. 437.

⁴⁴³ *Ibidem*, s. 521.

⁴⁴⁴ Hayflick: *How and Why We Age*, s. 64.

⁴⁴⁵ Na podstawie wyników tych badań stwierdzono, że posiadanie długowiecznych rodziców i dziadków nie gwarantuje długiego życia, ale ludzie, którzy mieli przodków dożywających późnej starości, mają statystycznie większe szanse na odziedziczenie tej cechy. Badacze podali nawet matematyczną formułę pozwalającą obliczyć prawdopodobieństwo odziedziczenia jej.

⁴⁴⁶ To dotyczy tylko zespołu Wernera, gen progerii jest nieznany (przyp. tłum.).

⁴⁴⁷ Najważniejsze spośród tych zaburzeń nosi nazwę progerii i objawia się kaskadą chorób i zmian starczych. Choroba ta występuje rzadko (w USA odnotowano zaledwie 12 przypadków), ale jej postępy mają zadziwiający przebieg. W rozwoju dziecka zaobserwować można wiele oznak upośledzenia, twarz zaczyna przybierać ptasi wygląd, oczy stają się wylupiaste, nos haczykowaty, skóra pomarszczona i pojawia się łysienie. Pomimo tych zewnętrznych oznak starzenia się rozwój umysłowy przebiega normalnie. Dość szybko pojawiają się choroby serca i arterioskleroza, poziom cholesterolu oraz ciśnienie krwi gwałtownie podnoszą się i w wieku 12-13 lat następuje śmierć. Podczas sekcji zwłok tych nieszczęśliwych dzieci okazuje się, że wewnętrzne organy ciała wyglądają, jakby były wielokrotnie starsze niż są w rzeczywistości. Chociaż nie odkryto nigdy przyczyn tej choroby, uważa się, że progeria wywołwana jest przez dominujący defektywny gen (Hayflick: *How and Why We Age*, s. 107).

Ustalono wszakże genetyczne podstawy innej choroby objawiającej się zmianami starczymi, zaczynającej się w wieku młodzieńczym. Jest nią zespół Wernera, schorzenie występujące na świecie w 10 przypadkach na milion urodzeń. Przebieg choroby jest również dramatyczny: włosy siwieją i wypadają, skóra przybiera zwiędły wygląd, kości stają się niebezpiecznie kruche i pojawia się zaćma. Śmierć następuje zwykle z powodu ataku serca lub raka po 40 roku życia.

Jak dotąd, do izolacji ludzkich genów starości jeszcze daleko, o ile takie w ogóle istnieją. Ale Michael West, biolog molekularny z Południowozachodniego Centrum Medycznego Uniwersytetu Teksaskiego w Dallas twierdzi, że uczynił bardzo obiecujący pierwszy krok, izolując z ludzkich komórek geny śmiertelności. Kontrolują one procesy starzenia się w skórze, płucach i naczyniach krwionośnych. Działanie tych genów jest tak silne, że West ochrzcił je *M-1* i *M-2* (od ang. *mortality* - śmiertelność).⁴⁴⁸

"W ciągu następnych paru lat dokonamy pełnej charakterystyki genów, które regulują proces starzenia się komórki. Wtedy staniemy się świadkami gwałtownej ofensywy przeciwko takim dolegliwościom wieku starczego jak miażdżycy tętnic, choroba wieńcowa, starzenie się mózgu, zwyrodnienie stawów i zmarszczki" - przewiduje West.

Na potwierdzenie swoich tez przytacza przykłady niemal magicznych możliwości kryjących się w genach *M-1* i *M-2*. Włączając oraz wyłączając działanie tych genów, West zademonstrował możliwość inicjowania i zatrzymywania procesów starzenia, co powinno nawet najzagorzalszych jego krytyków przekonać o istnieniu ścisłego związku przyczynowo-skutkowego pomiędzy genami a starzeniem się człowieka.

W normalnie starzejących się komórkach aktywne są zarówno *M-1*, jak i *M-2*. Ale West wykazał, że wyłączając gen *M-1*, można przywrócić młodość - liczba możliwych podziałów komórki podwaja się. Natomiast blokując chemicznie ekspresję genu *M-2*, mógł wywołać jeszcze poważniejsze zmiany: komórki dzieliły się w nieskończoność. Włączając te geny z powrotem powodował, że komórki znowu zaczynały się starzeć. West twierdzi, że "włączając i wyłączając te geny, możemy czynić komórki młodszymi lub starszymi wedle woli".

Jednym z genów, dla których istnieją dobrze udokumentowane dane o wpływie na procesy starzenia się, jest gen *apo-E* kodujący białko o nazwie apolipoproteina E. Gen *apo-E* występuje w trzech wariantach: E2, E3 i E4, i ma ścisły związek z chorobą Alzheimera. U osób z dwiema kopiami E4 ryzyko wystąpienia tej choroby wzrasta ośmiokrotnie. Osoby będące nosicielami dwóch alleli E3 zapadają zwykle na chorobę Alzheimera dopiero około 75 roku życia.

Jeszcze bardziej interesujące wydaje się to, że istnieje związek pomiędzy genem E4 a długością życia. Badania przeprowadzone na grupie starszych ludzi, w wieku do 103 lat, dowiodły, że im niższa jest częstość występowania genu E4, tym większa szansa na długie życie. Wśród osób poniżej 65 roku życia gen E4 występował z częstością 25%, natomiast w grupie wiekowej 90-103 lat wartość ta spadała do 14%. Być może posiadanie genów E4 obniża oczekiwaną długość życia, zwiększając prawdopodobieństwo zapadnięcia na chorobę Alzheimera.⁴⁴⁹

Badania nad starością w latach 2020-2050

Jak będzie wyglądał postęp w tej dziedzinie badań w przyszłości?

Zgromadzone dotychczas dane na temat genów, kontrolujących procesy starzenia się, nie

Wykazano, że choroba ta jest dziedziczona w sposób recesywny po obojgu rodzicach.

⁴⁴⁸ Lyon, Gorner: *Altered Fates*, s. 517.

⁴⁴⁹ Thomas T. Perls: Krzepcy staruszkowie, "Świat Nauki", marzec 1995, s. 36.

pozwalają jeszcze wyciągnąć żadnych wniosków. Jednak zebrana wiedza jest imponująca, oparta na różnorodnych i niezależnych badaniach, od starzenia się robaków i muszek owocowych przez rolę przeciwutleniaczy i mechanizmów naprawy genów do mutacji u człowieka. Łączące je związki wydają się jednak wciąż niepewne.

Christopher Wills, profesor biologii z Uniwersytetu Kalifornijskiego w San Diego, sądzi, że do 2025 roku uda się wyizolować geny wieku u myszy. Z myszami dzielimy 75% genów i mamy podobny chemizm organizmu, co stanowi poważną przesłankę, by sądzić, że znalezione u myszy geny wieku będą mieć swoje odpowiedniki w genomie ludzkim. Wills uważa, że jeśli znajdą się takie, to będzie można przedłużyć ludzkie życie nawet do 150 lat.⁴⁵⁰

Po 2020 roku, gdy dostępne będą indywidualne kody DNA, użyteczna może się okazać jeszcze inna taktyka. Analizując kody genetyczne zdrowych dziewięćdziesięciolatków i ludzi jeszcze starszych, można będzie szukać, za pomocą komputera, wspólnych cech genetycznych w kluczowych genach podejrzewanych o wpływ na starzenie. Połączenie badań nad DNA długowiecznych zwierząt oraz indywidualnych kodów DNA osób starych może doprowadzić do istotnego zawężenia pola poszukiwań genów wieku.⁴⁵¹

Nie jesteś tym, co jesz: kaloryczna teoria starzenia się

Jak dotąd za pomocą żadnej ze wspomnianych metod nie udało się wykazać, że możemy zwiększyć długość ludzkiego życia. Jedyna hipoteza, na której poparcie mamy rzetelne dowody w postaci przedłużenia życia zwierząt, dotyczy ograniczania kaloryczności pożywienia: zwierzęta otrzymujące tylko tyle kalorii, ile jest niezbędne do przeżycia, żyją znacznie dłużej niż wynosi normalna średnia wieku. Choć koncepcja ta przeczy zdrowemu rozsądkowi (dobrze karmione zwierzę powinno dysponować większą odpornością na choroby i starzenie się), to kolejne testy przeprowadzane na wielu różnych gatunkach zwierząt zdają się ją potwierdzać. Uczeni wykazali, że w warunkach laboratoryjnych można przedłużyć życie myszy i szczurów o 50-100%. Jest to jedyna doświadczalnie potwierdzona metoda wydłużania życia zwierząt, która wytrzymała

⁴⁵⁰ Christopher Wills: *Exons, Introns, and Talking Genes*. Basic Books, Nowy Jork 1991, s. 5.

⁴⁵¹ Jeśli chodzi o wypuszczanie na rynek leków, które mogłyby ingerować w działanie genów związanych z procesami starzenia się, biolodzy ewolucyjni są bardziej ostrożni niż biolodzy molekularni. Wskazują oni, że ewentualny gen wieku, przyspieszający procesy uwiędnięcia i starzenia, może mieć inny, ukryty przed nami cel, istotny w okresie młodości. Geny często pełnią więcej niż jedną funkcję. Ewolucja preferuje geny, które podtrzymują młodzięcość i żywotność tak długo, jak długo jesteśmy płodni i możemy mieć potomstwo. Geny dbające o nasze zdrowie w młodości mogą mieć jednak wtórne działanie - przyspieszać procesy starzenia się w okresie, kiedy nasze lata płodne są już za nami.

Na przykład, ewolucja może preferować gen, dzięki któremu w młodości mogą się nam szybko zrastać kości. Jednakże, jeśli gen ten wypełnia swoją funkcję przez gromadzenie wapnia, może się z czasem okazać, że kiedy już minął okres rozrodczy, pojawiają się niezamierzone skutki w postaci wapnia odkładającego się w naczyniach krwionośnych. Tak więc gen dbający o nasze zdrowie, kiedy jesteśmy płodni, może przyspieszać procesy starzenia się w okresie, kiedy nie możemy już mieć dzieci.

Za inny przykład może posłużyć układ odpornościowy. Kiedy jesteśmy młodzi, nasze geny mogą zaprogramować układ immunologiczny tak, by produkował wszelkie skutecznie działające substancje chemiczne pomocne w walce z zarazkami. Jednakże po latach może się okazać, że te same związki powodują nagromadzenie się uszkodzeń w naszych komórkach, albo wręcz raka.

Jeślibyśmy zatem nawet znaleźli gen, który przyspiesza zmiany starcze w okresie, kiedy najlepsze lata mamy już za sobą, powinniśmy być niezwykle ostrożni z jego eliminacją - może okazać się, że nic nie wiemy o jego mimowolnych działaniach, niezbędnych dla zachowania zdrowia w młodości.

Jak twierdzą Randolph Nesse i George Williams w *Why We Get Sick* (Random House, Nowy Jork 1994): "Starzenie się jest ceną, jaką płacimy za wigor w młodości".

przewodzone przez dziesiątki lat testy. Dlaczego?

W królestwie zwierząt długość życia przedstawicieli różnych gatunków jest odwrotnie proporcjonalna do szybkości metabolizmu. Im wolniejsza przemiana materii, tym dłużej żyje zwierzę. Kiedy ograniczymy dopływ kalorii, sztucznie maleje tempo przemian metabolicznych, więc wydłuża się czas życia osobnika.

Hipoteza wiążąca niskokaloryczną dietę z długością życia przeczy popularnemu hasłu: "Żyć szybko, umrzeć młodo". Wydaje się mówić: "Żyj powoli i żyj dłużej".

Efekt ten, po raz pierwszy zauważony na przełomie wieków, został ostatecznie potwierdzony w 1934 roku przez Gli-ve'a MacKaya z Uniwersytetu Cornella, a potem był gruntownie badany przez patologa Roya L. Walforda z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Los Angeles (sam Walford zamierza dożyć 140 lat, przechodząc na niemal głodową dietę).⁴⁵² ⁴⁵³Rygorystyczne testy kontrolne mające potwierdzić tę teorię prowadzone są obecnie w Jefferson, w stanie Arkansas, przez Narodowe Centrum Badań Toksykologicznych Komisji ds. Żywności i Leków.

W testach przeprowadzonych w 1996 roku w Narodowych Instytutach Zdrowia obniżono 200 badanym małpom dzienną rację kalorii o 30%. Okazało się, że małpy te miały wolniejszą przemianę materii, dłużej żyły, rzadziej zapadały na raka, choroby serca i cukrzycę. "Wiedzieliśmy już od 70 lat, że jeśli daje się myszom laboratoryjnym mniej jedzenia, to wolniej się starzeją, dłużej żyją i rzadziej chorują. Stwierdziliśmy, że organizmy małp reagują tak samo jak organizmy gryzoni oraz że w obu przypadkach w grę wchodzi zapewne podobne zjawiska biologiczne" - mówi George Roth z Narodowego Instytutu Starzenia.⁴⁵⁴

Próby wprowadzenia takiej spartańskiej diety do amerykańskiego stylu życia doprowadzają jednak naukowców do rozpacz. W istocie większość Amerykanów zzieleniałaby ze strachu na widok diety zapewniającej im 940 kalorii dziennie, dzięki której mogliby żyć dłużej.

A Steven Austad, biolog z Harvardu, wykazał, jaką cenę trzeba zapłacić za osiągnięcie długowieczności. Przyjrząwszy się lepiej wynikom badań zauważył, że myszy trzymane na ni-skokalorycznej diecie nie miały potomstwa. A nawet straciły zupełnie zainteresowanie partnerami! Ludzie skazani na podobnie ubogą dietę mogliby stać się tak niemrawi, że w końcu przestaliby się interesować tymi wszystkimi rzeczami, dla których warto żyć.⁴⁵⁵

Nadal nie wiemy, dlaczego tak się dzieje. Ron Hart z Narodowego Centrum Badań Toksykologicznych sądzi, że odpowiedź tkwi w wyborach ewolucyjnych, których musiały dokonywać ssaki, a człowiek w szczególności, aby utrzymać wysoką temperaturę ciała. "Ciepło

⁴⁵² Lyon, Gerner: *Altered Fates*, s. 524.

⁴⁵³ Jednym z zastrzeżeń pod adresem tej pracy jest to, że nie wzięto pod uwagę faktu, iż dziko żyjące zwierzęta różnią się od zwierząt laboratoryjnych: zwierzęta żyjące na wolności nie korzystają z "regularnej diety", lecz są padlinożercami i łowcami, odżywiającymi się nieregularnie i zazwyczaj w niewystarczającym stopniu. Być może, twierdzą krytycy, eksperymenty te dowodzą czegoś wręcz przeciwnego, mianowicie, że regularna, bogata w składniki odżywcze dieta przekarmionych, zdrowych zwierząt laboratoryjnych przyczynia się do skrócenia ich życia. Może naukowcy, zamiast wydłużać czas życia zwierząt trzymanych na ubogiej diecie, w rzeczywistości skracają życie zwierząt przekarmionych? Należy jednak zauważyć, że nawet jeśli jest to prawda, to i tak ograniczona dieta pozytywnie koreluje z długością życia, w porównaniu z dietą wysokokaloryczną. Niestety, w pełni kontrolowane eksperymenty tego typu na zwierzętach żyjących na wolności są trudne i nigdy nie były przeprowadzane.

⁴⁵⁴ "New York Times", 30 kwietnia 1996, s. C7.

⁴⁵⁵ Nesse, Williams: *Why We Get Sick*, s. 118.

sprawia, że cząsteczki ulegają rozerwaniu w przypadkowych miejscach i trzeba je naprawiać - mówi Hart. - Niska kaloryczność pożywienia powoduje, że cała maszyna jest chłodniejsza, dzięki czemu uszkodzenia są mniejsze. Sama tylko redukcja poboru kalorii zmniejszenie o 40% powoduje liczby tego typu spontanicznych uszkodzeń DNA o 24%!".⁴⁵⁶

Ponadto, im wyższa temperatura wewnątrz ciała, tym szybciej przebiegają procesy spalania, uwalniając więcej wolnych rodników, które przyspieszają procesy starzenia się. Ochładzanie ciała, przeciwnie, zwiększa stężenie przeciwutleniaczy w organizmie. Hart wykrył czterokrotny wzrost stężenia katalazy i trzykrotny wzrost poziomu dysmutazy nadtlenkowej u zwierząt trzymany na ubogiej w kalorie diecie.

"To fascynujące - konkluduje Hart - że ograniczenia żywnościowe są jedynym eksperymentalnie potwierdzonym przykładem czynnika wzmagającego procesy naprawy DNA". Hart jest tak głęboko przekonany o roli tych badań, że w 1993 roku podjął systematyczne próby ustalenia wpływu ograniczeń kalorycznych na organizm człowieka.

Wielu uczonych uważa, że proces starzenia się zachodzi w "elektrowniach" komórki, w mitochondriach, gdzie związek chemiczny o nazwie ATP magazynuje większość potrzebnej do życia energii. Jest to tym bardziej prawdopodobne, że tam właśnie przebiega większość procesów utleniania i produkowane są duże ilości wolnych rodników nadtlenkowych. Związki nadutlenione mogą uwalniać nadtlenek wodoru, który łatwo przechodzi w bardzo reaktywną formę rodnikową. Z czasem procesy te działają hamująco na wytwarzanie samego ATP, a to obniża ogólną sprawność komórki. Ponadto w mitochondriach, które mają swój własny DNA, brakuje białek chroniących go przed uszkodzeniami, takich jakie zawiera jądro komórkowe. Tak więc rozpoczynają się procesy degeneracji komórki na wielu poziomach; zaburzenia dotyczą zarówno energetycznych, jak i funkcjonalnych aspektów życia komórki. Mitochondrialna hipoteza starzenia się komórek jest atrakcyjna dzięki jednoczesnemu uwzględnieniu wszystkich trzech rozważanych koncepcji: utleniania, uszkodzeń genów oraz obniżania kaloryczności pożywienia).

Być może, kiedy zrozumiemy mechanizmy kryjące się za skutkami ograniczeń kalorycznych, uczeni znajdą sposoby ich wykorzystania bez konieczności przestrzegania ostrej diety. "Chcemy zidentyfikować mechanizmy działające u tych [niedożywionych] zwierząt i zastanowić się, jak wywołać ten sam efekt farmakologicznie lub metodami terapii genowej" - konkluduje Hart. Jest on przekonany, że wraz ze współpracownikami wszedł już na trop wielkiego genu starości. "Przewiduję, że już wkrótce będziemy mieć w rękę gen starzenia" - dodaje Hart.

Pomiędzy rokiem 2020 a 2050: hodowla nowych organów

Ale jeśli geny wieku naprawdę istnieją i będziemy w stanie dowolnie nimi kierować, to czy nie czeka nas los Tironosa, skazanego na wieczną wegetację w zgrzybiałym ciele? Nie jest wcale jasne, czy manipulując genami starości, uda nam się jednocześnie odmłodzić nasze ciała. Co nam przyjdzie z dłuższego życia, jeżeli stan ciała oraz umysłu nie pozwoli nam się nim cieszyć?

⁴⁵⁶ Lyon, Gerner: *Altered Fates*, s. 528.

Wyniki przeprowadzonych niedawno doświadczeń wskazują, że być może pewnego dnia możliwa będzie hodowla narządów, które zastąpią zużyte części naszego organizmu. Niektóre zwierzęta, takie jak jaszczurki i płazy, posiadają zdolność regeneracji utraconych kończyn czy ogona. Niestety, ssaki nie mają takich własności. Jednak wszystkie komórki naszego ciała zawierają DNA, w którym zapisana jest pełna informacja genetyczna, także ta potrzebna do zbudowania całych narządów.

Transplantacja ludzkich narządów napotykała w przeszłości rozliczne przeszkody, wśród których najpoważniejszą było odrzucanie przeszczepu przez układ odpornościowy. Jednak stosując metody inżynierii molekularnej uczeni prowadzą prace nad hodowlą specjalnego typu komórek zwanych komórkami uniwersalnego dawcy, których obecność nie wyzwała reakcji odrzucenia. Realna staje się zatem nowa, obiecująca technika, dzięki której będzie można hodować całe narządy, jak to zademonstrowali w swoich pracach Joseph P. Vacanti ze Szpitala Dziecięcego w Bostonie i Robert S. Langer z MIT.⁴⁵⁷

W celu wyhodowania nowego narządu naukowcy najpierw konstruują skomplikowane polimerowe "rusztowanie" o określonym kształcie. Następnie do środka wprowadzają specjalnie przygotowane komórki. W miarę jak komórki namnażają się, wytwarzając tkankę, rusztowanie powoli się rozpuszcza, pozostawiając zdrową, nową tkankę określonego typu. Jest godne uwagi, że komórki rosną, specjalizują się i ustawiają prawidłowo mimo braku jakiegokolwiek "brygadzysty", który by nimi kierował. Najwyraźniej "program", pozwalający im na stworzenie kompletnego narządu, obecny jest w ich genach.

Technikę tę zastosowano już z powodzeniem do wyhodowania zastawek serca dla jagniąt, stosując ulegający biodegradacji polimer - kwas poliglikolowy - jako rusztowanie.⁴⁵⁸ Osadzone w nim komórki zostały wcześniej pobrane z naczyń krwionośnych zwierząt.⁴⁵⁹ "Rzuciły się one" na rusztowanie jak dzieci na drabinki na placu zabaw.

Od kilku lat metodę tę stosuje się również do hodowli ludzkiej skóry w celu uzyskania materiału na przeszczepy dla pacjentów z ciężkimi poparzeniami. Hodowane na substratach polimerowych komórki skóry były przeszczepiane osobom poparzoną, a także cukrzykom, u których słabe krążenie doprowadza często do martwicy i powoduje konieczność amputacji stóp. Technika ta może ostatecznie zrewolucjonizować metody leczenia pacjentów z ciężkimi chorobami skóry. Jak twierdzi Marie Burk z Zaawansowanych Badań Tkankowych: "Potrafimy wyhodować płat skóry o powierzchni sześciu boisk piłkarskich z napletka jednego noworodka".⁴⁶⁰

W gruncie rzeczy ludzkie narządy, takie jak ucho, hodowano już także w organizmach zwierzęcych. Uczonym z MIT i Uniwersytetu Stanu Massachusetts udało się niedawno pokonać problem odrzucenia przeszczepu i (bezboleśnie) wyhodować ludzkie ucho wewnątrz ciała myszy.

⁴⁵⁷ Robert Langer, Joseph P. Vacanti: Sztuczne narządy, "Świat Nauki", listopad 1995, s. 96-99; Robert Langer, Joseph P. Vacanti: Tissue Engineering, "Science", 260 (14 maja 1993), s. 920-926.

⁴⁵⁸ Sasha Nemecek: Mieć serce: inżynieria tkankowa - alternatywą transplantologii, "Świat Nauki", sierpień 1995, s. 20

⁴⁵⁹ D. J. Mooney, G. Organ, J. Vacanti, R. Langer: Design and Fabrication of Biodegradable Polymer Devices to Engineer Tubular Tissues, "Celi Transplantation", 3 (nr 2) 1994, s. 203-210.

⁴⁶⁰ "New York Times Magazine", 29 września 1996, s. 152.

Rusztowanie o kształcie ucha dorosłego człowieka sporządzono przy użyciu ulegającego biodegradacji polimeru i wszczepiono pod skórę specjalnie hodowanej myszy, w organizmie której działanie systemu odpornościowego zostało stłumione. Na rusztowaniu tym umieszczono następnie komórki chrząstki ludzkiej. Rolę ich żywiciela przejął organizm myszy. Po rozpuszczeniu się rusztowania okazało się, że na grzbiecie myszy wyrosło całe ludzkie ucho. Z czasem badacze powinni wypracować metody hodowli uszu bez udziału myszy. Może się to stać podstawą dla zupełnie nowej dziedziny - inżynierii tkankowej.

Znane są już eksperymenty dowodzące, że można również hodować nosy. Uczni wykorzystali komputerową mapę poziomicy nosa do stworzenia rusztowania, a jako zarodki znowu posłużyły komórki tkanki chrzęstnej.

Na razie użyteczność tej metody została wykazana w małej skali. Następnym krokiem będzie hodowla całych narządów, na przykład nerek. Walter Gilbert przewiduje, że w ciągu mniej więcej 10 lat hodowla narządów takich jak wątroba stanie się czymś powszechnym.⁴⁶¹ Pewnego dnia być może uda się zastąpić usuniętą w operacji mastektomii pierś organem wyhodowanym z własnych komórek pacjentki.

Niedawno dokonano kilku przełomowych odkryć w dziedzinie hodowli kości.⁴⁶² Zważywszy, że uszkodzenia kości zdarzają się powszechnie u ludzi w starszym wieku (tylko w USA notuje się rocznie ponad 2 miliony poważnych złamań i obrażeń kości oraz tkanki chrzęstnej), osiągnięcia te są niezwykle ważne. Metodami biologii molekularnej udało się uczonym wyizolować 20 różnych białek kontrolujących wzrost tkanki kostnej. W wielu przypadkach zidentyfikowano nie tylko białka, ale również odpowiadające im geny. Wspomniane białka, noszące nazwę białek morfogenicznych kości, BMP (ang. *bone morpho-genic proteins*), instrują pewne niezróżnicowane komórki, by stały się komórkami kostnymi. W jednym z eksperymentów kuracji białkiem BMP-2 poddano dwunastu pacjentów z poważnymi uszkodzeniami kości szczęki. Kuracja zakończyła się sukcesem. (Zwykle w takich przypadkach dla uzupełnienia braków kostnych w szczęce lekarze pobierają do przeszczepu fragment kości biodrowej, co jest skomplikowaną procedurą chirurgiczną).

Ostatecznym celem rozwoju tej techniki jest hodowla całych narządów, nawet tak skomplikowanych jak ręka. Może to wprawdzie potrwać jeszcze dziesiątki lat, jest jednak w zasięgu naszych możliwości. Sporządzono już schemat realizacji, krok po kroku, takiego przedsięwzięcia.⁴⁶³

Po pierwsze, trzeba skonstruować ulegające biodegradacji rusztowanie dla całej ręki, włącznie z najdrobniejszymi, mikroskopijnymi szczegółami więzadeł, mięśni i nerwów. Następnie na rusztowanie należy nanieść specjalne komórki, dające początek różnym rodzajom tkanek. W miarę namnażania się komórek rusztowanie będzie ulegało rozpuszczaniu. Rolę nieistniejącego jeszcze krwiobiegu będzie miała spełniać mechaniczna pompa dostarczająca środków odżywczych i usuwająca produkty przemiany materii powstające w trakcie wzrostu. Następnie trzeba będzie

⁴⁶¹ Wywiad z Walterem Gilbertem, 30 grudnia 1996.

⁴⁶² "New York Times", 22 października 1996, s. C3.

⁴⁶³ Robert Langer, Joseph P. Vacanti: Sztuczne narządy, "Świat Nauki", listopad 1995, s. 97.

wyhodować tkankę nerwową. (Regeneracja komórek nerwowych przebiega nadzwyczaj trudno. Jednakże w roku 1996 wykazano, że neurony rdzenia kręgowego myszy mogą odrastać w poprzek przecięcia). Na koniec powinno się chirurgicznie połączyć z resztą organizmu nerwy, naczynia krwionośne oraz układ limfatyczny. Szacuje się, że czas potrzebny na wyhodowanie nawet tak skomplikowanego narządu jak ręka nie powinien przekraczać pół roku.

Tak więc w przyszłości, jeszcze przed 2020 rokiem, możemy stać się świadkami pojawienia się dostępnych w handlu części zamiennych ludzkiego organizmu. Będą to jednak wyłącznie takie narządy, w których skład wchodzi tylko kilka rodzajów tkanek lub komórek, a więc skóra, kości, zastawki serca, uszy, nosy, może także nerki i wątroby. Narządy te będą hodowane na odpowiednich rusztowaniach lub z komórek zarodkowych.

W latach 2020-2050 powinna już być możliwa hodowla bardziej skomplikowanych narządów oraz części ciała cechujących się większą różnorodnością komórek. Mogą wśród nich znaleźć się na przykład ręce, serce i inne narządy wewnętrzne o złożonej budowie. Niewykluczone, że w drugiej połowie XXI wieku wymienialna będzie każda część ludzkiego ciała, z wyjątkiem mózgu.

Wydłużenie naszego życia jest, rzecz jasna, tylko jednym z odwiecznych snów ludzkości. Innym, bodaj jeszcze bardziej ambitnym marzeniem jest przejęcie kontroli nad samym życiem, tworzenie nowych organizmów, jakie jeszcze nigdy nie chodziły po Ziemi. I w tej dziedzinie uczeni szybkim krokiem zbliżają się do celu: umiejętności stwarzania nowych form życia.

ZABAWA W PANA BOGA

Klonowanie i dzieci na zamówienie

Wtedy to Pan Bóg ulepił człowieka z prochu ziemi i tchnął w jego nozdrza tchnienie życia, wskutek czego stał się człowiek istotą żywą [...] wyjął jedno z jego żeber, a miejsce to zappełnił ciałem. Po czym Pan Bóg z żebra, które wyjął z mężczyzny, zbudował niewiastę.

Księga Rodzaju 2,7; 2, 21-22

(przekład wg Biblii Tysiąclecia)

Czy zapanujemy nad życiem? Myślę, że tak. Wszak wszyscy wiemy, jak jesteśmy niedoskonalimi. Dlaczego nie mielibyśmy się odrobinę lepiej przystosować do przetrwania? To właśnie zrobimy. Odrobinę się ulepszymy.

JAMES WATSON

W każdej kulturze występują pradawne mity i podania o fantastycznych stworzeniach ulepionych z gliny lub błota. Według biblijnej Księgi Rodzaju Bóg tchnął życie w ulepionego z gliny Adama, a następnie z jego żebra stworzył Ewę. W mitach greckich Wenus uzalała się nad Pigmalionem, który zapalał wielką miłością do własnoręcznie wyrzeźbionej w marmurze pięknej Galatei, i na jego prośbę tchnęła w posąg życie.

Przez całą mitologię grecką przewijają się dziwaczne stworzenia o ciałach na wpół ludzkich i na wpół zwierzęcych: centaury - konie o głowie i torsie mężczyzny, harpie - ptaszyska z kobiecą twarzą, minotaury z głową byka osadzoną na ludzkim ciele oraz satyrowie - pół ludzie, pół kozły.

We współczesnej literaturze potęgę bogów zastąpiły osiągnięcia naukowe zwykłych śmiertelników, którzy sami teraz ponoszą moralną odpowiedzialność za obdarzanie życiem swoich dzieł. W powieści Mary Shelley *Frankenstein* uczony, dr Victor Frankenstein, staje przed dylematem, czy powinien również stworzyć partnerkę dla powołanego przez siebie do życia monstrum. Gdyby z tego związku urodziły się dzieci, mógłby powstać nowy, odpychający gatunek, zagrażający człowiekowi. Frankenstein rozpacział, że "[...] wtedy na ziemi rozmnożyłaby się cała rasa diabłów, które zagroziłyby istnieniu gatunku ludzkiego i napełniłyby trwogą życie człowieka. Czyż miałem więc prawo, tylko ze względu na swe dobro, sprowadzić na ludzkość takie nieszczęście na wieczne przekleństwo potomności?"^{464 465}

⁴⁶⁴ Steve Jones: *The Language of Genes*. Anchor Books, Nowy Jork 1993, s. 235.

(Shelley nie zdawała sobie sprawy z tego, że łączenie różnych części ciała nie wpływa na konstrukcję genetyczną produktu końcowego. Dzieci stworów dr. Frankensteina miałyby zwykłe ludzkie geny).

Jednakże rewolucja biomolekularna, w której wyniku możliwe stało się manipulowanie cząsteczkami DNA, pozwala spojrzeć na wiele antycznych mitów z zupełnie nowej perspektywy. Dzięki metodom biologii molekularnej odwieczne marzenie o władzy nad życiem powoli staje się rzeczywistością. Pojawia się jednak pytanie: jakie są granice tworzenia nowych form życia, których nauka nie powinna przekraczać? Czy nauka może któregoś dnia stworzyć nowe gatunki zwierząt, jakieś chimery, czy nawet nową rasę ludzką, "metaczłowieka" czy *homo superior*, o nadludzkich możliwościach?

Manipulowanie genami roślin i zwierząt

Wprowadzanie zmian do puli genowej roślin i zwierząt nie jest niczym nowym. Ludzie bawią się genami innych gatunków od ponad 10 tysięcy lat i wiele dobrze nam znanych roślin uprawnych i zwierząt hodowlanych powstało właśnie dzięki temu. Zdobywając jednak możliwość bezpośredniej ingerencji w genomy innych organizmów, powinniśmy pamiętać o lekcji, jaka płynie z selekcyjnych poczynań hodowców: takie działania mogą prowadzić do zupełnie nieoczekiwanych wyników.

Manipulowanie genami roślin w celu zwiększenia plonów było zawsze cenione. Tomasz Jefferson mówił nawet, że "największą zasługą, jaką można oddać dla ojczyzny, jest dodanie do jej upraw nowej, użytecznej rośliny".⁴⁶⁶

Wiele pomysłów Karola Darwina wykluło się podczas jego rozmów i spotkań z hodowcami roślin i zwierząt. Darwin dostrzegł, że u potomstwa zwierząt, które hodowcy krzyżowali ze sobą ze względu na pewne pożądane cechy, może się ujawnić jakaś szczególna własność. Na przestrzeni kilku pokoleń taka własność może ulec wzmocnieniu, aż w końcu staje się cechą charakterystyczną nowej odmiany rośliny lub zwierzęcia. Potwierdzało to wnioski Darwina, że podobne procesy zachodzą także wśród dziko żyjących zwierząt, gdzie rękę hodowcy zastępuje dobór naturalny.

Pies, na przykład, został udomowiony prawdopodobnie około 12 tysięcy lat temu. W procesie tym wilk (*Canis lupus*) przekształcił się w końcu w dobrze nam znanego, współczesnego psa, *Canis familiaris*. Intensywne krzyżowanie doprowadziło do powstania oszałamiającej różnorodności psich ras, hodowanych do określonych zadań, takich jak polowanie, wypas owiec, obrona, aport czy dotrzymywanie towarzystwa. Selekcja hodowlana rozszczepiła pierwotny gatunek *Canis lupus* na 136, według Amerykańskiego Związku Kynologicznego, różnych ras oraz liczne odmiany nie uwzględniane w ich klasyfikacjach.⁴⁶⁷

Z drugiej strony kot, niegdyś kot dziki, *Felis silvestris*, został udomowiony stosunkowo niedawno,

⁴⁶⁵ Mary W. Shelley: *Frankenstein*. Wydawnictwo Poznańskie, Poznań 1989, s. 148.

⁴⁶⁶ Thomas F. Lee: *Gene Future*, Plenum Press, Nowy Jork 1993, s. 288.

⁴⁶⁷ Steve Jones, Robert Martin, David Pilbeam, Sarah Bunney (red.): *The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution*. Cambridge University Press, Cambridge (Anglia) 1994, s. 94.

jakieś 5 tysięcy lat temu, prawdopodobnie przez Egipcjan. Koty hodowano zapewne do ochrony magazynowanego ziarna przed szczurami. Kot jest jedynym udomowionym gatunkiem pochodzącym od zwierząt żyjących pojedynczo; przodkowie wszystkich innych zwierząt domowych należeli do gatunków żyjących stadnie (to może wyjaśniać, dlaczego koty są indywidualistami i zachowują znacznie większą wobec nas rezerwę niż psy).⁴⁶⁸

Wszystko ma jednak swoją cenę i taka też nauka płynie z udomowienia zwierząt. Psy skorzystały na udomowieniu i bardzo się rozprzestrzeniły: w Ameryce Północnej jest obecnie 50 milionów psów, podczas gdy populacja wilków skurczyła się do 38 tysięcy sztuk.⁴⁶⁹ Ale psy przypłaciły życie w pułapce luksusu czym innym: intensywna hodowla doprowadziła do ogromnego wzrostu liczby chorób genetycznych, takich jak ślepotą, deformacja kości biodrowej, zaburzenia krzepnięcia krwi. Także kreując nowe formy życia metodami biotechnologii, możemy nieświadomie wyrządzić trudne do przewidzenia szkody.

Podobnie majstrowanie przy genomie roślin zaczęło się po zakończeniu epoki lodowcowej, jakieś 10 tysięcy lat temu, kiedy miejsce wspólnot zbieracko-łowieckich zajęło społeczeństwo agrarne i pojawiły się wsie, miasta, a z czasem też cywilizacja. W procesie tym powstały nowe odmiany kukurydzy, fasoli, pomidorów, ziemniaków, pszenicy, ryżu itd.,⁴⁷⁰ które kupujemy dzisiaj w sklepie, a które znacznie różnią się od swoich przodków.

Podobnie jak psy, również pewne gatunki roślin zapłaciły swoją cenę. Stosowana przez wieki przez amerykańskich Indian selekcja hodowlana kukurydzy całkowicie uzależniła ten gatunek od człowieka. Aby uprawa kukurydzy była łatwiejsza, Indianie starali się otrzymać taką odmianę, której ziarna byłyby silnie osadzone w kaczanie. W rezultacie kukurydza straciła możliwość swobodnego rozsiewania nasion w celu reprodukcji. Dalsze istnienie tego gatunku zależy w zupełności od człowieka, który uwalnia nasiona kukurydzy z kolby i rozsiewa je. Bez jego pomocy kukurydza musiałaby wyginać.

Przed 2020: transgeniczne rośliny i zwierzęta

Chociaż manipulowanie genami roślin i zwierząt trwa już od 10 tysięcy lat, dopiero w ciągu ostatnich 20 lat, dzięki technice przenoszenia genów, uczeni uzyskali możliwość krzyżowania różnych gatunków. Ponieważ całe życie na Ziemi wyewoluowało prawdopodobnie z jednej pierwotnej cząsteczki DNA lub RNA, nie jest niczym zaskakującym, że fragment DNA z jednego gatunku może tak łatwo powielać się w komórce innego.

Obecnie można niemal w ciągu minut, dokonując "krótkiego spięcia" i omijając miliony lat ewolucji, stworzyć nowe gatunki transgenicznych zwierząt, jakie nigdy wcześniej nie istniały na Ziemi.

⁴⁶⁸ *The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution*, s. 382.

⁴⁶⁹ Jeśli porównamy zwierzęta udomowione (owce, bydło, kozy, woły itd.) z ich przodkami, to okaże się, że wykazują one wszystkie podobne, ujemne efekty krzyżowania: mniejsze rozmiary ciała, mniejszy mózg, krótszy pysk, otluszczenie. Objętość mózgu psa, na przykład, zmalała z około 400 do 250 cm³ po udomowieniu tego zwierzęcia. Hodowla i krzyżowanie mają tak radykalny wpływ na stan wielu udomowionych gatunków, że zwierzęta te prawdopodobnie nie przeżyłyby na wolności ("Discover", październik 1994, s. 98).

⁴⁷⁰ *The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution*, s. 376.

Do 2020 roku postęp w tworzeniu transgenicznych zwierząt stanie się wielokrotnie szybszy, gdyż będziemy dysponować przewodnikiem w postaci genomów tysięcy żywych form. Wydaje się, że szczególnie w przypadku roślin możliwości są nieograniczone. "Możemy umieścić w roślinach niemal każdy związek o właściwościach leczniczych" - mówi Andrew Hiatt z Instytutu Badawczego Kliniki Scripps w La Jolla w Kalifornii.⁴⁷¹ Na razie uczeni zaledwie zaczęli zgłębiać bogactwo form organizmów transgenicznych. W XXI wieku, kiedy odczytane zostaną informacje genetyczne wielu roślin uprawnych i zwierząt, mniej więcej równoległe z ludzkim genomem, proces ten ulegnie znacznemu przyspieszeniu.

Jak dotąd, większość zakończonych sukcesem transferów genów polegała na przeniesieniu pojedynczego genu, kodującego określone białko, z jednego organizmu roślinnego lub zwierzęcego do innego. (Cechy pewnego gatunku można przekazać osobnikom innego, jeśli białko kontrolujące jakiś proces chemiczny wytwarzane w jednym organizmie może podobnie funkcjonować w innym).

Dzięki temu prostemu zabiegowi można otrzymać cenne, czasami zbawienne dla ludzkiego zdrowia i życia hormony i związki chemiczne - wycina się pewne geny człowieka za pomocą enzymów restrykcyjnych i wprowadza je do jakiegoś gatunku bakterii. Przykładem może być insulina, niegdyś otrzymywana wyłącznie z trzustki świni, a od 1978 roku produkowana przez hodowlę bakterii *E. coli*, którym wstawiono odpowiedni gen ludzki. W procesie przypominającym nieco fermentację alkoholową zmodyfikowane bakterie *E. coli* wytwarzają niemal nieograniczone ilości ludzkiej insuliny. Los 4 milionów cukrzyków zależy od tej ważnej reakcji.⁴⁷²

Podobnie ludzki hormon wzrostu, niegdyś dostępny jedynie w niewielkich ilościach i otrzymywany z przysadek osób zmarłych, można obecnie tanio wytwarzać w laboratoriach, w niemal identyczny sposób. Od tego czasu udało się otrzymać metodami inżynierii genetycznej mnóstwo innych rzadkich leków, na przykład interleukinę-2 (stosowaną przy raku nerek), czynnik krzepliwości krwi VIII (stosowany przy hemofilii), szczepionkę przeciw wirusowemu zapaleniu wątroby typu B, erytropoetynę (stosowaną przy anemii), szczepionkę przeciw kokluszowi i somatotropinę (używaną przy niedoczynności przysadki).⁴⁷³

W rzeczywistości są to jedne z najważniejszych osiągnięć rewolucji biomolekularnej. Jeszcze przed 2020 rokiem, kiedy staną się dostępne osobiste sekwencje nukleotydów, niemal każdy specyficzny hormon czy enzym występujący w organizmie ludzkim będzie można wytwarzać w dowolnych ilościach. Wystarczy wprowadzić ludzki gen kodujący ten związek do bakterii i pozwolić im "fermentować".

Obecnie uczeni starają się dokładnie wyjaśnić mechanizm chemiczny, dzięki któremu pewne narkotyki powodują uwalnianie neuroprzekaźników, co prowadzi do jednoczesnego pobudzenia dużej liczby neuronów w mózgu i niesamowitych wrażeń. Być może pewnego dnia, kiedy będziemy potrafili wytwarzać te neuroprzekaźniki, problem narkotyków zostanie rozwiązany dzięki

⁴⁷¹ "New York Times", 16 stycznia 1990, s. 241.

⁴⁷² Enzo Russo, David Cove: *Genetic Engineering*. W. H. Freeman, Nowy Jork 1995, s. 74, 93.

⁴⁷³ *Ibidem*, s. 95.

możliwości tłumienia głodu narkotykowego.

Rozwój metod tworzenia transgenicznych zwierząt także ulegnie przyspieszeniu do 2020 roku. Przełom w badaniach mających na celu stworzenie transgenicznych ssaków nastąpił w 1976 roku, kiedy to naukowcy z Instytutu Raka Fox Chase w Filadelfii skonstruowali nową odmianę myszy, wstrzykując wirusa białaczki do mysich komórek zarodkowych.⁴⁷⁴ W 1980 roku technika ta została znacznie udoskonalona wraz z wynalazkiem mikroiniekcji. Z organizmu samicy myszy usuwano najpierw 15-20 świeżo zapłodnionych komórek jajowych. Następnie, pod mikroskopem, sterując za pomocą manipulatora niezwykle cienką, nie grubszą od włosa szklaną rurką, nakłuwano je i wstrzykiwano do nich niewielkie ilości obcego materiału genetycznego. Komórki te umieszczono potem w macicy zastępczej matki, która po 20 dniach urodziła małe. Badania potomstwa wykazały, że genom myszy został trwale zmieniony.

Od tego czasu z powodzeniem używano metody mikroiniekcji w licznych doświadczeniach, w których otrzymano transgeniczne króliki, świnie, kozy, owce i krowy. W 1982 roku stworzono w laboratorium nową rasę "supermyszy". Richard Palmiter i jego współpracownicy z Instytutu Medycznego Howarda Hughesa donieśli, że za pomocą mikroiniekcji wprowadzili gen hormonu wzrostu szczura do komórek jajowych myszy. Powstała w ten sposób mysz rosła trzy razy szybciej i osiągnęła dwukrotnie większe rozmiary niż mysz normalna. Zgodnie z oczekiwaniami, nowy gen mógł być przekazywany potomstwu genetycznie zmodyfikowanej myszy.^{475, 476}

Podczas gdy transgeniczne zwierzęta staną się zapewne źródłem wielu wartościowych lekarstw, transgeniczne rośliny stanowią obietnicę wyższych plonów. Współcześnie nawet bardzo niewielkie zachwiania w podaży żywności są natychmiast dotkliwie odczuwane. Na Ziemi żyje około ćwierci miliona gatunków roślin kwiatowych, ale tylko 150 z nich to rośliny uprawne. Spośród tych 150 jedynie dziewięć (pszenica, ryż, kukurydza, jęczmień, proso, ziemniaki, bataty, trzcina cukrowa i soja) dostarcza 3/4 energii, którą czerpiemy z pożywienia.⁴⁷⁷ Tak więc zaraza lub inna plaga atakująca uprawy może doprowadzić do klęski głodu na ogromną skalę.

Ponieważ liczba ludzi na Ziemi, obecnie szacowana na 6 miliardów, podwoi się prawdopodobnie w ciągu następnych 50 lat, zapotrzebowanie na ziemię uprawną gwałtownie wzrośnie (a obszary uprawne kurczą się stale ze względu na uprzemysłowienie i urbanizację).⁴⁷⁸ Biotechnologia nie zaradzi tak poważnym problemom demograficznym, ale może przyczynić się do złagodzenia niektórych trudności.

Inżynieria genetyczna roślin powstała w 1983 roku, gdy udało się wprowadzić DNA bakterii *Agrobacterium tumefaciens* do organizmu roślinnego. W 1987 roku naukowcy dowiedli, że za pomocą specjalnych nabożów można dosłownie "wstrzeliwać" DNA do komórek roślinnych. Obecnie pociski z wolframu lub złota, opłaszczane DNA, są rutynowo stosowane w tym celu.

⁴⁷⁴ Lee: *Gene Future*, s. 166.

⁴⁷⁵ *Ibidem*, s. 174.

⁴⁷⁶ Palmiter oczywiście zrozumiał szerokie możliwości wynikające z jego odkrycia. W swojej publikacji w "Nature" stwierdził, że technika ta może być zastosowana do "korygowania lub naśladowania pewnych schorzeń genetycznych". Dodał również, że mogłaby "stymulować rozwój hodowli zwierząt o znaczeniu gospodarczym".

⁴⁷⁷ Lee: *Gene Future*, s. 288.

Metoda ta wywarła już wielki wpływ na rolnictwo.

Rzecznicy przemysłu twierdzą, że na początku przyszłego wieku mniej więcej połowę powierzchni najważniejszych upraw w Stanach Zjednoczonych zajmą rośliny zaopatrzone w przynajmniej jeden obcy gen. "Dochody ze sprzedaży tego typu produktów w 2000 roku wyniosą około 2 miliardów dolarów, w 2005 -6 miliardów i mogą dojść do 20 miliardów w roku 2010" - twierdzi Simon Best z Badań Roślinnych Zeneca.⁴⁷⁹ Największa firma nasienna w USA, Pioneer Hi-Bred International, przewiduje, że w 2000 roku 1/3 do 1/2 linii produkcyjnych nasion będzie korzystała z metod inżynierii genetycznej.⁴⁸⁰ "Może ona mieć równie wielkie znaczenie dla rolnictwa, jak pierwsza orka" - stwierdza Rick McConnell, jeden z dyrektorów Pioneera.⁴⁸¹

Już teraz techniki te są z powodzeniem wykorzystywane do otrzymywania nowych odmian roślin. A jeszcze przed 2020 rokiem powinniśmy być świadkami dalszego postępu w następujących dziedzinach:

Rośliny produkujące pestycydy. Poddane zabiegom inżynierii genetycznej rośliny potrafią obecnie same wytwarzać naturalnie występujące w przyrodzie pestycydy. Na przykład *Bacillus thuringiensis*, w skrócie *Bt*, wytwarza białko, które zabija wiele szkodników, takich jak pewne gatunki gąsienic niszczących bawełnę oraz tytoń. Gen *Bt* można wprowadzić do roślin uprawnych, umożliwiając im produkcję naturalnych pestycydów na własny rachunek.⁴⁸² Bawełna już teraz potrafi sama zwalczać atakujące ją szkodniki, a kukurydza może niszczyć przywleczoną z Europy omacnicę, żerującą na jej łodygach i kolbach.

Rośliny odporne na choroby. Można tworzyć nowe odmiany roślinne odporne na różne rodzaje rdzy i wirusów. Uczonym udało się wyizolować z ryżu gen o nazwie *Xa21*, który koduje białko zabezpieczające tę roślinę przed pewną odmianą rdzy -grzyba, który potrafi zniszczyć nawet 50% plonów na polach ryżowych Azji i Afryki. Gen ten można teraz wprowadzić także do pszenicy, kukurydzy i innych roślin uprawnych, czyniąc je w ten sposób odpornymi na tę chorobę.

Rośliny odporne na herbicydy. Gen znaleziony w petunii można przenieść do soi, dzięki czemu roślina ta stanie się bardziej odporna na działanie środków chwastobójczych (jak np. preparat Roundup).

Rośliny wytwarzające lekarstwa. Łatwiej jest produkować potrzebne nam leki za pomocą roślin niż bakterii lub drożdży. Ludzkie geny wprowadzone do roślin przekształcają je wręcz w fabryki leków potrzebnych w medycynie.⁴⁸³

Klony

Jak dalece możemy rozwijać podobne techniki? Ważną dziedzinę badań stanowi klonowanie. Choć pojęcie to przywołuje przygnębiające obrazy z *Nowego, wspaniałego świata*, w

⁴⁷⁸ Wywiad z Lesterem Brownem, World Watch Institute.

⁴⁷⁹ "New York Times", 3 marca 1996, s. 3-1.

⁴⁸⁰ *Ibidem*.

⁴⁸¹ *Ibidem*.

⁴⁸² *Ibidem*.

⁴⁸³ "New York Times", 16 stycznia 1990, s. C1.

rzeczywistości z klonowaniem mamy do czynienia na co dzień. W ogrodach już od paru tysięcy lat powszechnie stosuje się zabieg polegający na szczepieniu odciętych fragmentów roślin, dzięki czemu otrzymuje się identyczne genetycznie kopie wybranej rośliny. W sklepach kupujemy warzywa i owoce, z których wiele jest klonami specjalnie krzyżowanych i hodowanych odmian roślin.

Chociaż rośliny tak łatwo poddają się klonowaniu, wszelkie próby klonowania ssaków zawsze kończyły się porażką.

Klonowanie organizmów wyższych można przeprowadzić na dwa sposoby. Pierwszy polega na usunięciu komórek z zarodka (jeszcze zanim zdążą się one zróżnicować i wytworzyć komórki skóry, mięśni, nerwowe itp.), wprowadzeniu do nich zmian i hodowaniu w warunkach laboratoryjnych lub wszczępieniu zastępczej matce. Drugi sposób jest o wiele trudniejszy i ciekawszy: należy wziąć dojrzałe komórki, które uległy już zróżnicowaniu, i zmusić je, by zachowywały się jak komórki zarodka. Do niedawna sądzono, że metodą tą nie da się sklonować dorosłego ssaka.

W zasadzie DNA dojrzałych komórek zawiera całą informację potrzebną do stworzenia nowego organizmu, ale uczeni nie potrafili zmusić zróżnicowanych komórek do powrotu do stadium zarodkowego. Po niemal dziesięciu latach starani naukowcy stracili nadzieję, że uda im się nakłonić komórki (np. skóry) do odtworzenia całego organizmu.

Sytuacja uległa zmianie dzięki badaniom Iana Wilmuta z Instytutu Roslina w Edynburgu. Wszystkich całkowicie zaskoczyły ogłoszone przez niego w 1997 roku wyniki eksperymentów, w wyniku których udało mu się sklonować owcę drugą metodą, wykorzystując dojrzałe komórki pobrane z gruczołu mlecznego dorosłej samicy.⁴⁸⁴ Po 277 nieudanych próbach grupa Wilmuta wyhodowała pierwszy na świecie okaz sklonowanego ssaka, owcę o imieniu Dolly. "Od czasu, kiedy Bóg wziął żebro Adama i stworzył Ewę, nie zdarzyło się nic równie fantastycznego" - obwieścił "Newsweek".

Przedsięwzięcie Wilmuta rozpoczęło się zupełnie konwencjonalnie. Najpierw uczeni wypreparowali jądro komórkowe z komórki dorosłej owcy. Następnie, jak podczas poprzednich prób, zastosowali impuls elektryczny w celu połączenia tego jądra z komórką jajową, z której wcześniej usunięto jądro. Zazwyczaj podobna hybryda nie rozwijała się w zarodek. Przełom, którego dokonała grupa Wilmuta, polegał na nakłonieniu takiej komórki do "przebudzenia się", do przywrócenia aktywności długo uśpionym genom zawartym w przeszczepionym jądrze.

Duża część DNA dojrzałych komórek jest pozwijana i przez to niedostępna, dzięki czemu komórki skóry, na przykład, nie stają się ni stąd, ni zowąd komórkami wątroby. Już wcześniej uczeni wiedzieli, że białkowa konstrukcja otaczająca DNA dojrzałej komórki jest w jakiś sposób odpowiedzialna za wyłączenie genów. Zwrot w badaniach nastąpił, kiedy grupa Wilmuta postanowiła wstrzymać na tydzień dopływ składników odżywczych do komórki, co doprowadziło do zmian w białkowym rusztowaniu. Zastosowanie tego podstępu pozwoliło na reaktywację uśpionych

⁴⁸⁴ I. Wilmut i in.: Viable Offspring Derived from Fetal and Adult Mammalian Cells, "Nature", 27 lutego 1997, s. 810.

genów komórki i przywrócenie jej do stanu zarodkowego.

Grupa Wilmuta obaliła w ten sposób nasze przekonanie, że dojrzałe komórki, które raz uległy zróżnicowaniu, nie są już w stanie powrócić do stadium zarodkowego. Osiągnięcie to może przynieść w przyszłości nieoszacowane korzyści w medycynie. Komórki rdzenia kręgowego, mózgu i serca prawie nie podlegają procesom regeneracji, ponieważ "zapomniły", jak się rozmnażać. Jeśli udałoby się nakłonić te komórki do podziałów, lekarze mogliby leczyć uszkodzenia rdzenia kręgowego powstające przy złamaniach kręgosłupa, regenerować tkankę mózgową po udarach mózgu i odnawiać uszkodzony mięsień sercowy po zawałach serca. Gdybyśmy umieli odmładzać te komórki, moglibyśmy wyleczyć miliony ludzi przykutych do wózków inwalidzkich czy sparaliżowanych i marniejących w szpitalach i domach opieki. Inne możliwości obejmują "produkowanie części zamiennych" dla pacjentów czekających na transplantację (na przykład wątroby) oraz klonowanie wymierających gatunków zwierząt, które trudno rozmnażają się w niewoli.

Ciągle jednak pozostaje do pokonania wiele przeszkód. Eksperyment z Dolly należy powtórzyć w innych ośrodkach. Ponadto, komórki ciała tego zwierzęcia, powstałe w wyniku klonowania jądra komórkowego pobranego od sześciolatniej owcy, okazują się mieć odpowiednio krótsze telomery (być może więc Dolly będzie się szybciej starzeć). Oczywistym niebezpieczeństwem są również uszkodzenia genetyczne towarzyszące klonowaniu. Co ważniejsze, dokładny mechanizm, dzięki któremu komórki "przypominają sobie" o dawno nieużywanych genach, musi dopiero zostać rozpoznany.

Ron James z PPL Therapeutics, firmy, która zapewniła Wil-mutowi jedną trzecią środków na badania, twierdzi, że wśród praktycznych zastosowań klonowania widzi całe stado owiec dających mleko zawierające dobroczynne enzymy i leki. Jednak na pytanie, jak długo trzeba będzie czekać na sklonowanie tą metodą człowieka, James odpowiada: "Mam nadzieję, że całą wieczność".⁴⁸⁵ Nie można automatycznie przenosić wniosków wyciągniętych z doświadczeń nad zwierzętami na przypadek człowieka, ale Arthur Caplan, bioetyk, przewiduje powstanie pierwszego klonu ludzkiego w ciągu 7 lat. Nawet jeśli klonowanie ludzi zostanie zakazane, nie jest wykluczone, że techniki te będą rozwijane nielegalnie.

Oczywiście, klonowanie wzbudza wiele drażliwych kwestii etycznych. Wrócimy do tego tematu w następnym rozdziale. Jednakże dylematy moralne związane z klonowaniem błędą w obliczu wątpliwości, jakie wzbudza inżynieria genetyczna

człowieka. W wyniku klonowania otrzymujemy po prostu kopię danej osoby, natomiast inżynieria genetyczna pozwala zmieniać ludzki genom, a przez to modyfikować całą rasę ludzką. Można posłużyć się tutaj następującą analogią: względnie łatwo jest sporządzić kserokopię dzieł Szekspira, ale nieskończenie trudniej jest je poprawić.

⁴⁸⁵ "Time", 10 marca 1997, s. 65.

Po roku 2020: cechy wielogenowe

Jak już widzieliśmy, dzięki zautomatyzowaniu i skomputeryzowaniu technik sekwencjonowania DNA rozwój biotechnologii będzie się stale nasilał mniej więcej do roku 2020. I dopóki badania będą się koncentrowały na przenoszeniu pojedynczych genów między gatunkami roślinnymi i zwierzęcymi, możemy osiągnąć każdy cel, jaki sobie postawimy.

Wydaje się jednak, że po 2020 roku postępy w tej dziedzinie ulegną spowolnieniu. Po pierwsze, ogromne dzieło odczytywania i gromadzenia DNA organizmów zostanie już wówczas zakończone dzięki komputeryzacji sekwencjonowania. Po drugie, bardziej skomplikowane cechy kodowane są zwykle przez wiele genów, których funkcjonowanie zależy od wzajemnych interakcji oraz wpływów środowiska. Po trzecie, określenie budowy, a zatem również właściwości wielu złożonych białek może okazać się niemożliwe bez rozwiązania starego problemu konformacji cząsteczki białkowej. (Przypomnijmy, że jeśli nie można otrzymać próbki krystalicznej danego białka, to metody krystalografii rentgenowskiej stosowane przy określaniu struktury trójwymiarowej cząsteczki są bezużyteczne. Zmusza to uczonych do stosowania zasad fizyki kwantowej oraz metod komputerowych do obliczeń, na podstawie których próbują następnie przewidzieć, jak zwija się dana cząsteczka).

Podobnie jak znajomość numerów telefonów wszystkich obywateli USA nie mówi nam, jak każdy z nich zarabia na życie i co myśli, ani jak funkcjonuje społeczeństwo amerykańskie jako całość, tak też znajomość 100 tysięcy genów naszego ciała nie da nam wiedzy o tym, jak one funkcjonują, jak wpływają na siebie nawzajem ani w jaki sposób ich działanie zależy od warunków środowiska.

Do 2020 roku główny nurt zainteresowania biotechnologii przesunie się zatem z sekwencjonowania DNA na badanie funkcji genów oraz wzajemnych zależności pomiędzy nimi, czyli tak zwaną genomikę funkcjonalną. W przeciwieństwie do sekwencjonowania DNA, które można z łatwością zautomatyzować i skomputeryzować, genomika funkcjonalna będzie się posuwać naprzód powoli i dużym nakładem pracy. Badań tych być może nigdy nie uda się w pełni skomputeryzować.

Jednym ze sposobów ustalania funkcji genów jest analiza genomów innych zwierząt. Całymi latami uczeni żmudnie usuwali lub mutowali poszczególne geny muszki owocowej lub myszy, żeby zobaczyć, jaki to będzie miało wpływ na potomstwo. Krótki cykl życiowy tych zwierząt pozwolił zgromadzić względnie szybko dużą liczbę danych. Za każdym razem, kiedy określona zostaje funkcja pewnego genu u zwierzęcia, można za pomocą komputera szukać jego homologów wśród znanych sekwencji genów ludzkich. Ale często geny człowieka różnią się od swoich zwierzęcych odpowiedników w wielu istotnych fragmentach sekwencji DNA. Z tego powodu nigdy nie można mieć pewności co do funkcji danego genu u człowieka. Te pracochłonne badania laboratoryjne nie dają się łatwo skomputeryzować.

Ze względu na trudności, jakie sprawia rozszyfrowywanie cech wielogenowych, do 2020 roku badania nie wyjdą prawdopodobnie poza izolowanie pojedynczych genów, odgrywających kluczowe role w kontroli poszczególnych cech wielogenowych. Mówiąc obrazowo: uczeni nie

zobaczą gobelinu w całości, ale będą wyciągać i badać poszczególne nitki, z których jest utkany. Z pewnością uda im się na przykład wyizolowanie pojedynczych genów, kontrolujących niektóre wielogenowe cechy, takie jak kształt ciała, rysy twarzy czy podstawowe formy zachowania.

W latach 2020-2050 będziemy już potrafili spleść te pojedyncze nitki i określić wygląd całego gobelinu. Postępy staną się wolniejsze, ale podłoże niektórych cech wielogenowych, zwłaszcza tych kontrolowanych przez niewielką liczbę genów, zostanie już, być może, w tym okresie poznane.

Jednakże manipulowanie więcej niż kilkoma genami pozostanie poza zasięgiem naszych możliwości jeszcze przez długie dziesięciolecia. Nawet w drugiej połowie XXI wieku nauka z pewnością nie sprostą wizjom, jakie spotykamy czasem w książkach fantastycznonaukowych. Pozostanie najprawdopodobniej bezradna wobec manipulowania genami kontrolującymi rozwój całych narządów. Najważniejsze organy ciała pozostają pod kontrolą kilku tysięcy genów, co prawdopodobnie uniemożliwi wszelkie manipulacje nimi (z wyjątkiem najprostszych) nawet pod koniec przyszłego wieku. Przeszczepianie całych części ciała (takich jak na przykład skrzydła) przedstawicielom innych gatunków niemal na pewno pozostanie całkowicie nieosiągalne w XXI wieku.

Podsumowując: na początku przyszłego wieku można spodziewać się ogromnego postępu w tworzeniu organizmów transgenicznych i klonowaniu już istniejących, o ile w grę będzie wchodził transfer tylko pojedynczego białka z jednego organizmu do innego. Natomiast biotechnologiczne czarnoksiężstwo rodem z Hollywood (na przykład próby stworzenia metaczołowieka czy *homo superior*, wymagające manipulowania tysiącami genów) jest odległe o całe stulecia, jeżeli w ogóle możliwe. Jak na razie, potrafimy jedynie przenosić niewielkie fragmenty DNA z jednego organizmu do drugiego, więc modyfikowanie setek czy wręcz tysięcy genów kontrolujących podstawowe funkcje organizmu w ogóle nie wchodzi w grę.

Okres 2020-2050: dzieci "na zamówienie"

Ogólny kształt ciała i najprostsze formy ludzkiego zachowania należą do tych cech poligenowych, które są kontrolowane zaledwie przez garstkę genów. Czy opisane powyżej techniki pozwalają oczekiwać przychodzenia na świat dzieci "na zamówienie", którym rodzice wybrali niektóre geny?

W najbliższej przyszłości, o ile nie pojawią się zakazy prawne w tej dziedzinie, nauka będzie dysponowała narzędziami pozwalającymi na zmianę genów naszego potomstwa. Już obecnie można wpływać na wzrost dziecka dzięki hormonowi wzrostu otrzymywanemu metodami inżynierii genetycznej. Wkrótce dotyczyć to będzie mnóstwa innych cech pozostających pod kontrolą jednego białka.

Geny kształtu ciała

Naukowcy są już na tropie genów regulujących masę ciała -genów otyłości. U myszy znaleziono dotychczas pięć takich genów. Odkryto również homologiczne geny u człowieka i uczeni sądzą, że

decydują one o naszej wadze. Oczekuje się, że w nadchodzących latach zidentyfikowanych zostanie wiele pojedynczych genów, choć może nawet do 2020 roku naukowcy nie ustalą, jak współdziałają one ze sobą, kształtując nasze ciało i determinując jego metabolizm.

Możliwość kontrolowania tych kilku genów, od których zależy masa ciała, może mieć istotne znaczenie. Zgodnie z opublikowanym w 1995 roku raportem amerykańskiego Instytutu Medycyny, 59% dorosłych Amerykanów ma nadwagę. Konsekwencją tej sytuacji jest nie tylko powstanie nowej gałęzi gospodarki, zajmującej się produkcją książek poświęconych odchudzaniu oraz odpowiednich kaset i programów dietetycznych, ale także zastraszająco wysokie wydatki na opiekę zdrowotną. Według epidemiologów z Wydziału Medycyny Uniwersytetu Harvarda, w 1990 roku nadwaga obywateli kosztowała państwo 45,8 miliarda dolarów (nie licząc 23 miliardów dolarów strat w postaci niewykonanej pracy), rozdymając budżet przeznaczony na ochronę zdrowia do niezwyklej rozmiarów. Otyłość stała się też przyczyną śmierci 300 tysięcy osób. Cukrzyca, niewydolność układu krążenia, udary mózgu i rak okrężnicy to tylko niektóre z poważnych następstw nadwagi.⁴⁸⁶

Fakt, że we wszystkich społeczeństwach uprzemysłowionych wystąpił problem otyłości, świadczy nie tylko o dostępności wysokokalorycznego pożywienia, ale także o ujawnieniu się genetycznych skłonności do tycia. Badając jednojajowe bliźnięta wychowywane w różnych warunkach, można oszacować wpływ czynników genetycznych na wzrost i masę ciała. Większość badań wskazuje, że cechy te są w 50% kontrolowane przez geny (według innych korelacja ta sięga 80%). Obserwacje bliźniąt dowodzą, że na masę ciała mają wpływ czynniki genetyczne. Cechy tej nie kontroluje pojedynczy gen. Rolę odgrywa kilka genów, przy czym ekspresja niektórych z nich zależy od warunków środowiskowych.

Uczeni zaczynają rozumieć, jak geny tej grupy wzajemnie na siebie wpływają. Wydaje się, po pierwsze, że kontrolowany przez nie hormon o nazwie leptyna wpływa na apetyt. Gdy przybieramy na wadze, wzrasta poziom leptyny w organizmie, co powoduje przyspieszenie przemiany materii i zmniejszenie apetytu. Kiedy chudniemy, poziom leptyny opada, apetyt rośnie, a organizm spala mniej tłuszczów.

Po drugie, ponieważ w tej pętli sprzężenia zwrotnego rolę odgrywa również mózg, można opracować leki regulujące poziom neuroprzekaźników wywołujących uczucie sytości i zadowolenia. Jednym ze środków wpływających na poziom stężenia serotoniny, neuroprzekaźnika tłumiącego wzmożony apetyt, jest dexfenfluramina (dopuszczona do obrotu przez amerykańską Komisję ds. Żywności i Leków w 1996 roku pod handlową nazwą Redux, a obecnie dostępna także w 65 innych krajach).

Naukowcy będą rozszyfrowywać coraz więcej pojedynczych genów, aż koło 2020 roku zaczną się wyłaniać pełny obraz ich wpływu nie tylko na otyłość, ale także na ogólny kształt ciała, w tym również mięśnie i szkielet. Może jednak upłynąć jeszcze sporo czasu, zanim w pełni zrozumiemy, w jaki sposób decydują one o wielogenowych cechach kształtujących naszą sylwetkę.

⁴⁸⁶ W. Wayt Gibbs: Obrastanie w tłuszcz, "Świat Nauki", październik 1996, s. 70.

Geny oblicza i owłosienia

Także pojedyncze geny mające wpływ na rysy twarzy i włosy powinny zostać wyizolowane na początku przyszłego wieku. Grupa uczonych związanych pierwotnie z Uniwersytetem Waszyngtona w St. Louis doniosła w 1996 roku o znalezieniu genu odpowiedzialnego za wzrost włosów. Pewien defekt tego genu, zlokalizowanego na chromosomie X, może powodować postać tzw. defektu ektodermalnego, anomalii dziedzicznej, na którą cierpi 125 tysięcy Amerykanów, wyłącznie mężczyzn. Jednym z objawów tej choroby jest całkowite lub częściowe łysienie (wypadają także zęby, a gruczoły potowe są słabo wykształcone). Z badaniami nad tym genem uczeni wiążą nadzieje na rozwiązanie problemu łysienia.⁴⁸⁷

Naukowcy prawdopodobnie zlokalizowali na chromosomie X także gen wywołujący nadmierne owłosienie - zespół zwany syndromem wilkołaka. Osoby cierpiące na wrodzone uogólnione nadmierne owłosienie mają porośniętą włosami górną część ciała, łącznie z twarzą. W przeszłości ludzie dotknięci tą chorobą często, niestety, kończyli w cyrku. (Uczeni sądzą, że człowiek miał kiedyś ochronne pokrycie z włosów, ale w trakcie naszej ewolucji jakaś mutacja wyłączyła odpowiedzialny za nie gen.⁴⁸⁸ Oznaczałoby to, że nadal posiadamy setki genów, których działanie zostało wyłączone w trwających miliony lat procesach ewolucyjnych, ale w których ciągle zapisana jest informacja o budowie naszych prymitywnych przodków).

Uczonym udało się także wyizolować pewne geny odpowiedzialne za rysy twarzy. Coraz częściej badacze analizujący rzadko spotykane defekty genetyczne odkrywają, że pojedyncze geny wpływają nie tylko na jeden narząd, lecz także na złożone części ciała, takie jak twarz, serce czy ręka.

"Odkrywamy pojedyncze geny, które nadają twarzy wygląd. Nader często spotykają nas przy tym niespodzianki. Albo o danym genie w ogóle nie słyszeliśmy, albo też nie mieliśmy pojęcia, że może on mieć coś wspólnego z twarzą" - zauważył Robin M. Winter z Instytutu Zdrowia Dziecka w Londynie.⁴⁸⁹

Okazało się, że do genów wpływających na wygląd ludzkiej twarzy należą także geny odpowiedzialne za zespoły Williamsa, Crouzona, Waardenburga oraz Treachera Collinsa.

Być może poznanie garstki genów regulujących naszą masę, owłosienie i rysy twarzy pozwoli uczonym ostatecznie opracować metody leczenia większości odstępstw od normalnego wyglądu, jakie dotyczą ludzi cierpiących na te choroby genetyczne. Jeszcze przed 2020 rokiem lista genów wpływających na twarz i włosy powinna zostać uzupełniona. Jest jednak mało prawdopodobne, byśmy do tego czasu poznali skomplikowaną sieć powiązań między genami decydującymi o złożonych cechach, od których zależy wygląd naszej sylwetki i twarzy.

Zatem w dającej się przewidzieć przyszłości najlepiej zapewnić sobie urodę "starannie dobierając rodziców", jak to kiedyś ujęła Candice Bergen.

⁴⁸⁷ "New York Times", 30 lipca 1996, s. C9.

⁴⁸⁸ "Science News", 3 czerwca 1995, s. 348.

⁴⁸⁹ "New York Times", 13 lutego 1996, s. C7.

Geny zachowania

Uczeni od dawna podejrzewali, że geny mają wpływ na niektóre nasze zachowania, uzależnione od skomplikowanej sieci powiązań genetycznych oraz złożonych wpływów środowiska. Dopiero niedawno jednak wyizolowano pierwsze, pojedyncze geny regulujące pewne rodzaje zachowań (istotne implikacje społeczne takich badań omówię w następnym rozdziale).

Jednym z bardziej interesujących odkryć w tej dziedzinie było znalezienie w 1996 roku pojedynczego genu, nazwanego *fru*, odpowiedzialnego za rytuał godowy samca muszki owocowej.⁴⁹⁰ Po raz pierwszy uczeni odkryli pojedynczy gen kontrolujący złożone funkcje mózgu. Badacze z czterech ośrodków (Uniwersytetu Stanforda, Południowozachodniego Centrum Medycznego Uniwersytetu Teksaskiego, Uniwersytetu Stanu Oregon i Uniwersytetu Brandeis) wykazali, że ten jeden gen koduje całe zachowanie godowe samca - poczynając od rozpoznania samiczki, poprzez obrządek obwąchania jej i odśpiewania "pieśni godowej", czyli brzęczenia skrzydełkami, aż po kopulację, jeśli pieśń została wysłuchana i samiec zaakceptowany. Ponieważ mózg muszki owocowej jest względnie prosty - zawiera tylko 10 tysięcy komórek (10 milionów razy mniej niż mózg człowieka) - wiele wzorców zachowań jest zapewne na trwałe "wdrukowanych" w jego strukturę.

Pełny genom muszki owocowej będzie prawdopodobnie znany tuż po 2000 roku. Ponieważ repertuar zachowań tej muszki nie jest specjalnie bogaty, można spodziewać się, że do 2010 roku uczeni zidentyfikują geny odpowiedzialne za określone zachowania.

Geny regulujące zachowania myszy są daleko bardziej skomplikowane, ale i tak kilka z nich już rozpoznano. Fakt ten może mieć bezpośrednio znaczenie dla medycyny. Na przykład w roku 1997 uczeni wyizolowali gen wpływający na pamięć. Dokonanie to było prawdziwym kamieniem milowym w badaniach genetycznych. Biolodzy od dawna podejrzewali, że wiele doznań mózg przetwarza wstępnie w hipokampie, małej strukturze nerwowatego kształtu, ukrytej głęboko w mózgu. Działanie hipokampu ma decydujące znaczenie dla zdolności poruszania się w rzeczywistym świecie. To właśnie w tej części mózgu konstruowana jest trójwymiarowa "mapa umysłowa" naszego otoczenia.

W hipokampie są najprawdopodobniej wstępnie przetwarzane i przechowywane przez kilka tygodni wszelkie wspomnienia, zanim zostaną przeniesione do pamięci stałej, zlokalizowanej w korze mózgowej. Mechanizm ten może wyjaśniać, dlaczego ludzie po głębokich urazach mózgu, sięgających hipokampu, są w stanie przywołać dawne wspomnienia miejsc i twarzy (przechowywane w korze), ale mają wielkie trudności z przypomnieniem sobie, co działo się przed chwilą.

W hipokampie mózgu myszy znajduje się grupa około miliona dużych komórek nerwowych, zwanych komórkami miejsca, dzięki którym mysz rozpoznaje swoje położenie w przestrzeni. Komórki te utrwalają zawartą w nich pamięć dzięki białku należącemu do grupy kinaz.

⁴⁹⁰ Lisa C. Ryner i in.: Control of Male Sexual Behavior and Sexual Orientation in *Drosophila* by the fruitless Gene, "Cell", 13 grudnia 1996, s. 1079.

Naukowcy z MIT i Uniwersytetu Columbia niezależnie od siebie ogłosili w 1996 roku, że potrafią wpłynąć na pamięć myszy przez wprowadzenie mutacji do genu kodującego określoną kinazę.⁴⁹¹ (Grupa z Uniwersytetu Columbia wyhodowała linię myszy, które wytwarzały defektywne cząsteczki tej kinazy. Natomiast badacze z MIT usunęli w ogóle kodujący ją gen z komórek hipokampu, tworząc myszy całkowicie pozbawione tego białka. W obu przypadkach myszy, pozornie zupełnie normalne, nie potrafiły zapamiętać żadnej drogi. Komórki nerwowe nie tworzyły właściwych połączeń i mysz nie mogła nauczyć się poruszania w nowym otoczeniu).

Znalezienie u człowieka genów homologicznych dla tego konkretnego genu pamięci może mieć olbrzymie konsekwencje medyczne. Walter Gilbert uważa, że umożliwiłoby to stworzenie jeszcze przed 2020 rokiem leków dla ludzi cierpiących na zaniki pamięci. W hipokampie zaczyna się na przykład choroba Alzheimera, powodując krótkotrwałe zaniki pamięci. Gilbert wierzy także, że dzięki tym odkryciom powstaną środki poprawiające pamięć oraz zdolność uczenia się zdrowych osób.⁴⁹² Być może już w niedalekiej przyszłości będziemy zwiększać zdolność asymilowania nowej wiedzy przez spożywanie jakiegoś białka usprawniającego tworzenie się nowych synaps. Choć prawdopodobnie na pamięć człowieka ma wpływ wiele współdziałających genów, Gilbert przewiduje, że nie później niż za 10 lat powinna pojawić się cała grupa leków wzmacniających pamięć.

Alkoholizm, przyczyna połowy wypadków drogowych i przestępstw, kosztujący Stany Zjednoczone około miliarda dolarów rocznie, jest, być może, kolejnym zachowaniem uwarunkowanym genetycznie. Prawdopodobieństwo wystąpienia choroby alkoholowej, jeśli jedno z bliźniąt popadło już w nałóg, jest dwukrotnie większe u bliźniąt jednojajowych niż u dwujajowych, co bezsprzecznie świadczy o genetycznym podłożu alkoholizmu. Korelacja nie jest jednak stuprocentowa. W grę wchodzi najprawdopodobniej wiele genów oraz czynniki środowiskowe. Jak dotychczas, geny odgrywające istotną rolę w alkoholizmie udało się zlokalizować na chromosomach 1, 4, 8 i 16.

W 1996 roku odkryto gen lęku.⁴⁹³ Koduje on serotoninę, ten sam neuroprzekaźnik, na który wpływa przeciwdepresyjnie działający Prozac. Gen ten występuje w dwóch odmianach, długiej i krótkiej, dziedziczonych po obojgu rodzicach. Jak stwierdzono na podstawie testów osobowościowych, osoby posiadające dwie długie wersje tego genu (mniej więcej jedna trzecia populacji) wykazują wiele optymizmu w życiu. Pozostali, u których występuje przynajmniej jedna krótka wersja genu lęku, uzyskują w testach wyższe współczynniki strachu, obaw i neurotyzmu.

W tym samym roku psycholog z Uniwersytetu Stanu Minnesota donieśli, że prawdopodobnie istnieją genetyczne podstawy uczucia szczęścia. Chociaż nie udało im się zlokalizować tego genu szczęśliwości, na podstawie badań 2000 bliźniąt urodzonych w latach 1936-1955 w stanie Minnesota twierdzą, że każdy człowiek ma swój wyjściowy "poziom zadowolenia", na stałe

⁴⁹¹ Thomas J. McHugh i in.: Impaired Hippocampal Representation of Space in CA1-Specific NMDAR1 Knockout Mice, "Cell", 27 grudnia 1996, s. 1339.

⁴⁹² Wywiad z Walterem Gilbertem.

⁴⁹³ Klaus-Peter Lesch i in.: Association of Arousal-Related Traits with a Polymorphism in the Serotonin Transporter Gene Regulatory Region, "Science", 29 listopada 1996, s. 1527.

zapisaną w genach predyspozycję do odczuwania szczęścia.⁴⁹⁴ Niezależnie od tego, czy los nam sprzyja, czy też przychodzą złe czasy, ostatecznie i tak powracamy do charakterystycznego poziomu zadowolenia.

Z czasem okaże się, czy istnienie tych genów potwierdzą niezależne badania. Istotny jest sam fakt, że po raz pierwszy pojawia się możliwość izolowania pojedynczych genów biorących udział w regulacji cech wielogenowych. W przyszłości proces wyszukiwania takich genów powinien ulec przyspieszeniu. Do 2020 roku poznamy wiele genów związanych z najrozmaitszymi zachowaniami, ale upłynie jeszcze wiele lat, zanim zrozumiemy, w jaki sposób zależą one od siebie nawzajem oraz od czynników środowiska.

Po roku 2050

W drugiej realizacji filmu *Mucha* Jeff Goldblum gra znakomitego fizyka, który wynalazł pierwsze na świecie urządzenie służące do teleportacji. Ma ono zrewolucjonizować podróżowanie - cząsteczki ludzkiego ciała podlegają dezintegracji, zostają przeniesione w przestrzeni i na koniec poskładane na nowo. Wybierając się w podróż, nie dostrzega jednak, że do komory dezintegracyjnej dostała się wraz z nim niewielka mucha. Podczas teleportacji w przestrzeni, DNA muszki ulega nieodwracalnemu wymieszaniu z jego własnym DNA. Po zakończeniu podróży odkrywa on z najwyższym zdumieniem, że metabolizm jego organizmu zaczyna się zmieniać. Coś dziwnego dzieje się z jego apetytem, z popędem seksualnym, siłą i kształtem ciała. Powoli bohater zaczyna się przekształcać w ogromną muchę.

Wiemy obecnie wystarczająco wiele na temat inżynierii genetycznej, aby rozsądnie oceniać podobne scenariusze fantastycznonaukowe. Jest na przykład zupełnie nieprawdopodobne, żeby przypadkowe wymieszanie genów człowieka i muchy spowodowało przemianę jednego gatunku w drugi. Rzeczywistość jest znacznie bardziej skomplikowana. Wiele genów regulujących rozwój całego ciała wykazuje aktywność tylko w stadium zarodkowym. Komórki dojrzałego organizmu są już zróżnicowane i budują różne narządy, nie potrafią więc odpowiedzieć na nowe instrukcje, które miałyby spowodować zmianę ich funkcji. Domieszka DNA innych zwierząt nie może więc zmienić ludzkiego ciała w organizm zwierzęcy. Tak naprawdę należy sądzić, że nic podobnego się wtedy nie zdarzy.

Natomiast losowe wymieszanie genów wyłączy wiele procesów biochemicznych w ludzkich komórkach. Zadaniem genów jest produkowanie białek, które kontrolują reakcje chemiczne prowadzące do powstawania tkanek. Jeśli ekspresja genów ulega zaburzeniu, nie powstają odpowiednie białka. W konsekwencji czynności życiowe komórki ustają i ostatecznie następuje jej śmierć. Tak więc przypadkowe wymieszanie różnych DNA, zamiast powodować powolną przemianę jednego organizmu w drugi, doprowadziłoby prawdopodobnie do zaburzenia funkcjonowania narządów i w konsekwencji do śmierci. Dlatego wiele scenariuszy fantastycznonaukowych prawdopodobnie nigdy się nie urzeczywistni.

⁴⁹⁴ "Newsweek", 29 lipca 1996, s. 78.

Na pierwszy rzut oka odcyfrowanie tysięcy genów potrzebnych do stworzenia pojedynczego narządu wydaje się rzeczą wręcz niemożliwą. Podejrzewa się na przykład, że nasz układ nerwowy jest kodowany przez niemal połowę genomu, czyli prawie 50 tysięcy genów. Zanalizowanie tylu genów wydaje się zadaniem niewykonalnym. Nie oznacza to jednak, że w drugiej połowie XXI wieku badania staną w miejscu. Kluczem do zrozumienia cech wielogenowych mogą się okazać "geny-mistrzowie" i "geny-naczelnicy architektów" [*master genes* i *master architect genes*], które powstały w wyniku trwającej miliony lat ewolucji. Już obecnie znany jest gen-mistrz oka muszki owocowej, którym można niemal dowolnie manipulować.

Gen mistrzowski oka

Naukowcy już dawno zauważyli, że nowe wynalazki ewolucji powstają zwykle na podstawie starych struktur. Choć istnieją wyjątki od tej reguły, obserwuje się zwykle, że natura adaptuje elementy wcześniejszych struktur na potrzeby nowych zadań. Sami nosimy zatem ciągle pozostałości genów, które kiedyś kontrolowały rozwój organizmów naszych najodleglejszych przodków. (To rzeczywiście wstrząsające: w naszym genomie wciąż tkwią fragmenty informacji o najwcześniejszych stadiach ewolucji wcześniejszych filogenetycznie gatunków: ryb, robaków, a nawet pierwotnych bakterii).

Do pewnego stopnia można to dzisiaj zobaczyć, śledząc rozwój ludzkiego płodu, którego wczesne stadia przypominają rozwój robaków, ryb i ssaków. W dziele *O powstawaniu gatunków* Darwin pisał: "Skądinąd jednak jest bardzo prawdopodobne, że u wielu zwierząt stadia zarodkowe lub larwalne przedstawiają mniej więcej dokładnie wygląd przodka całej grupy w jego stadium dorosłym". Istnieje pogląd, że skrzela ludzkiego zarodka są pozostałością po skrzelach, którymi oddychali nasi pradawni, podobni do ryb przodkowie.⁴⁹⁵

Jednak przewrót, jaki dokonał się w badaniach nad DNA, przyniósł również niespodzianki, które zmuszają nas wręcz do zrewidowania podręcznikowych wiadomości. Od dziesięcioleci, na przykład, biolodzy wierzą, że ewolucja wielokrotnie niezależnie "odkrywała" oko w różnych gałęziach drzewa rodowego organizmów. Oko ssaka, z jego pojedynczą siatkówką, różni się tak znacznie od oka muchy z 750 heksagonalnymi fasetkami, że zawsze przyjmowano, iż ewolucja, na drodze prób i błędów, niemal 40 razy niezależnie wytwarzała w świecie zwierzęcym narząd wzroku.

Niektórych biologów dziwiło jednak, że ten sam pigment potrafiący wychwytywać promieniowanie widzialne, rodopsyna, odnajdywany jest we wszystkich narządach wzroku, które powstały rzekomo niezależnie. Czy ta wspólna cecha nie miałaby wskazywać na to, że kiedyś istniało praoko, matka wszystkich narządów widzenia, które odnajdujemy, jeśli tylko cofniemy się w wystarczająco odległe czasy?

Biolodzy molekularni sądzą obecnie, że istotnie tak było. W 1995 roku Walter Gehring ze swoim zespołem z Uniwersytetu w Bazylei odkrył, że istnieje nadrzędny gen-mistrz, od którego rozkazów

⁴⁹⁵ Rudolf A. Raff: *The Shape of Life*. University of Chicago Press, Chicago 1996, s. XV.

zależy, czy muszka owocowa będzie miała oczy, czy nie.⁴⁹⁶ Dopiero w następnej kolejności potrzeba pozostałych 5 tysięcy genów kodujących dokładne informacje konieczne do powstania komórek oka. Gen ten został nazwany *eyeless* (dosłownie: bez oka, ponieważ jego brak sprawia, że oko w ogóle nie powstaje). Umieszczając gen *eyeless* w różnych częściach ciała muszki owocowej, grupa Gehringa doprowadziła do pojawienia się charakterystycznych dla niej oczu na skrzydłach, odnóżach, a nawet czułkach. W wyniku jednego z eksperymentów powstała muszka, która na swoim ciele miała czternaścioro oczu.

Było to tak nadzwyczajne osiągnięcie, że na ogół bardzo wyważony magazyn "Science" przyozdobił okładkę jednego z numerów muszkami w całości pokrytymi oczyma. "To była publikacja roku. Frankenstein pozieleniałby z zazdrości" - żartował Charles Zuker z Instytutu Howarda Hughesa w San Diego.⁴⁹⁷

Gehring stwierdził, że gen ten występuje u wielu przedstawicieli królestwa zwierząt: u płazińców, kałamarnic, strzykw, myszy, a nawet u człowieka. "Gdziekolwiek szukamy, zawsze go znajdujemy" - stwierdził Gehring.⁴⁹⁸ "Wszystko to wskazuje na istnienie wspólnego, pierwotnego oka" - dorzucą Russel Fernald z Uniwersytetu Stanforda.⁴⁹⁹

Z jednej strony oznacza to, że gen *eyeless* jest dla wielu gałęzi drzewa rodowego zwierząt pradowym i podstawowym elementem. Jego istnienie wskazuje, że wszyscy jesteśmy potomkami jakiegoś morskiego organizmu żyjącego mniej więcej 500 milionów lat temu, u którego po raz pierwszy pojawił się gen praoka. Organizm ten, który jako pierwszy użył rodopsyny potrzebnej do funkcjonowania pierwotnego oka, prawdopodobnie przekazał swoje geny wszystkim wyposażonym w oczy istotom na Ziemi. "Oznacza to, że w zasadzie wszyscy jesteśmy po prostu wielkimi muchami" - żartuje Zuker.

Z drugiej strony wskazuje to także na możliwość istnienia innych genów-mistrzów kryjących się w naszych chromosomach, kontrolujących rozwój całych narządów naszego ciała. Uczeni często zastanawiali się, jak to możliwe, że w zaledwie 100 tysiącach genów zawarta jest kompletna informacja potrzebna do stworzenia człowieka. Nie dziwi ich zatem, że są geny ważniejsze i mniej ważne.

Przy budowie domu z modułów zawsze korzysta się z instrukcji podstawowych, zasad ogólnych, regulujących rozmieszczenie pokoi oraz wyposażenie budynku. Podobne zasady ogólne zakodowane są w genach-mistrzach, które uruchamiają działanie tysięcy innych genów zawierających konkretne instrukcje, jak należy budować poszczególne części organizmu. Podobną rolę, jak przeznaczone dla brygadzysty instrukcje składania domu z modułów, pełnią niektóre wskazówki zawarte w genach określających ogólny zarys konstrukcji. Inne zaś, zakodowane w innych genach, zawierają informacje o jej szczegółach.

Odkrycie genów-mistrzów, sterujących pozostałymi instrukcjami genetycznymi, powinno

⁴⁹⁶ W. J. Dickinson i in.: Eye Evolution, "Science", 26 kwietnia 1996, s. 5261.

⁴⁹⁷ "New York Times", 24 marca 1995, s. A1.

⁴⁹⁸ "Discover", lipiec 1996, s. 114.

⁴⁹⁹ *Ibidem*.

ogromnie ułatwić poznanie projektu architektonicznego całego ciała, wraz ze wszystkimi jego narządami.

Co to wszystko znaczy? Istnieją tysiące genów biorących udział w tworzeniu różnych części ciała - zbyt wiele, by śledzić każdy z nich. Kluczem do poznania złożonych zestawów genów mogą się po 2020 roku okazać wspomniane geny mistrzowskie. Wyizolowanie tych nadrzędnych genów pozwoli uczonym badać sukcesywne włączanie tysięcy innych genów na kolejnych etapach rozwoju poszczególnych narządów.

Nie oznacza to, że pewnego dnia będziemy potrafili przenieść oko muszki owocowej do innego organizmu, jak się to stało w filmie *Mucha*. Geny-mistrzowie instruuja nieodróżnicowane komórki zarodkowe, a nie komórki dojrzałe. Ale geny homologiczne do nich znaleziono już również u człowieka, zatem rozsądnie będzie przyjąć, że ludzki zarodek rozwija się według wzorców genetycznych podobnych do tych rządzących rozwojem muszki owocowej.

Odkrycie wszystkich genów-mistrzów występujących u ssaków powinno znacznie ułatwić zrozumienie zjawisk, w których tysiące genów współdziałają w stworzeniu jednego narządu. Tak więc po 2050 roku, kiedy środek ciężkości badań genetycznych przesunie się w kierunku cech wielogenowych, kontrolowanych przez tysiące genów, nadrzędne geny regulatorowe mogą stać się jednym z najważniejszych narzędzi pozwalających rozebrać na części maszynię 100 tysięcy genów naszego organizmu.

Naczelnicy architektury ciała

Innym ważnym odkryciem, które zapewne przybliży nam odpowiedź na pytanie, jak tysiące genów mogą harmonijnie współpracować przy tworzeniu organizmu, jest znalezienie "naczelników architektury" - genów, które decydują o ogólnej budowie naszego ciała.

Istnienie tych uniwersalnych genów można wydedukować z analizy kształtów ciała różnych zwierząt, które w większości posiadają oś głowa-ogon oraz dwustronną symetrię ciała. Podstawowy zarys planu budowy naszego ciała - głowa na jednym końcu, dalej tułów i na drugim końcu ogon lub kość ogonowa oraz kończyny po bokach, wszystko zgodnie z płaszczyzną symetrii przebiegającą od głowy do ogona - sięga milionów lat wstecz. Pomyślmy o dinozaurach, owadach, rekinach, krokodylach, królikach itd. Wszystko według tego samego podstawowego projektu!

Ostatnio uczeni wyizolowali geny częściowo odpowiedzialne za plan budowy ciała. Ten niesłychanie ważny zbiór genów kontroluje rozwój nieodróżnicowanych początkowo komórek zarodka, z których stopniowo, dzięki mechanizmom różnicowania, powstają głowa, ramiona, tułów i nogi. Te tzw. geny homeotyczne decydują o głównych zarysach budowy ciała mnóstwa różnych zwierząt - od muchy i myszy poczynając, a na człowieku kończąc. (U bezkręgowców sekwencja ta nosi nazwę *HOM*, zaś jej odpowiednikiem u kręgowców jest *HOX*). Istnieje wiele wzajemnie odpowiadających sobie genów homeotycznych muszki owocowej, myszy i człowieka, choć są też wyjątki od tej reguły. Więcej nawet, porządek, w jakim geny homeotyczne ułożone są na chromosomie, odzwierciedla kolejność ich występowania w organizmie, od głowy poczynając.

Odkrycie tego porządku ogromnie ułatwiło identyfikację genów homeotycznych.

Fakt, że niektóre geny homeotyczne można swobodnie wymieniać pomiędzy odległymi gatunkami, wskazuje na pradawne pochodzenie tej grupy genów. Na przykład geny kręgowców *Pax-6*, *Dbc-1*, *Hox-7* i *wnt-7a* są homologami genów *eyeless*, *Distal-less*, mshi *wingless* muszki owocowej, kontrolujących odpowiednio rozwój oka, odnóży, mięśni i skrzydeł.

Na przykładzie muszki owocowej wykazano także, że geny homeotyczne kontrolują strukturę organizmu. Powodując mutacje pewnych genów segmentu *HOM* i obserwując ich skutki w rozwoju muszek, naukowcy potrafili określić funkcje poszczególnych genów. Na przykład, zmutowanie genu *antenna-pedia* prowadziło do wykształcenia dodatkowej pary nóg na głowie muszki, zamiast czułków (ang. *antennae*).

Grupa badaczy z Wydziału Medycyny Uniwersytetu Harvarda wykazała, że pewna mutacja genów homeotycznych może powodować u człowieka deformację zwaną synpolidaktylią, która polega na występowaniu błon pomiędzy palcami oraz dodatkowych palców. Inny zespół odkrył, że białko o nazwie BMP (*bone morphogenetic protein*) jest sygnałem chemicznym, który decyduje o pojawieniu się takiej błony. Blokując to białko, badacze sprawiali, że kurczaki miały między palcami błony (jak kaczkę) albo na nóżkach pióra zamiast łusek.

Obecnie uczeni sądzą, że geny homeotyczne kodują białka w rodzaju BMP, kontrolujące działanie innych genów poprzez włączanie lub wyłączanie ich ekspresji. Niektóre z tych białek mogłyby nawet, podobnie jak BMP, instruować komórki (na przykład komórki błony rosnącej między palcami) do samounicestwienia, zapobiegając w ten sposób pojawieniu się obłonionej stopy.

Być może geny homeotyczne okażą się kluczem do rozwiązania zagadki zarodkowego zapisu planu budowy ciała. Pełna mapa tych genów (którą powinniśmy otrzymać w następnej dekadzie) może po 2050 roku wskazać nam drogę przez gąszcz cech wielogenowych, nawet tych zależnych od tysięcy genów.

Po 2050 roku: anioły nad Ameryką

Widzieliśmy już, jak niewiele wiemy na razie na temat transferu genów: badacze przenoszą zwykle z organizmu do organizmu jedynie niewielkie fragmenty DNA, najczęściej zawierające tylko jeden gen. I widzieliśmy też, jak niezmiernymi trudnościami obarczone jest zrozumienie na poziomie genetycznym cech wielogenowych (tj. metabolizmu, kształtu ciała, owłosienia, wyglądu twarzy i własności innych części organizmu), gdzie w grę wchodzi nawet tysiące genów. Ale jeśli pewnego dnia okaże się, że jesteśmy w stanie manipulować genami mistrzowskimi, które kontrolują strukturę narządów, to pojawi się oczywiste pytanie: czy wiedza ta pozwoli nam stworzyć w przyszłości metaczłowieka lub *homo superior*?

W okresie 2020-2050 będziemy prawdopodobnie umieli odczytywać tysiące genów biorących udział w kształtowaniu najważniejszych części naszego ciała. Ale mogą upłynąć jeszcze całe dziesięciolecia, zanim nauczymy się manipulować takimi genami.

Aby lepiej zrozumieć trudności z tym związane, rozważmy możliwość latania ludzi w powietrzu. Od najdawniejszych czasów perspektywa ta rozpaliała wyobraźnię mistyków i teologów. W mitach religijnych od tysięcy lat pojawiały się anioły.

Aby stworzyć istoty ludzkie, które mogłyby latać, musielibyśmy umieć regulować działanie tysięcy genów decydujących o rozwoju skrzydeł. Powstanie odpowiednich tkanek i kości wymagałoby zsynchronizowania wszystkich tych genów. Stanowczo przekracza to możliwości współczesnej biotechnologii. Z czasem, być może, będziemy dokonywać takich cudów (w trakcie ewolucji nie takie przecież rzeczy powstawały), ale mogą upłynąć całe stulecia, zanim powstaną odpowiednie do tego techniki.

Przede wszystkim musimy zdać sobie sprawę, że wykorzystanie genów kierujących rozwojem skrzydeł u ptaków prawdopodobnie nie wchodzi w rachubę. Skrzydła, tak samo jak oczy muszki owocowej, są zapewne kontrolowane przez jakiś gen mistrzowski, ale jedynie ptaki i niektóre inne zwierzęta latające dysponują całym zestawem genów niższego stopnia, które może zaktywować gen zarządzający. Wstawiając taki homeotyczny gen do ludzkiego genomu, niczego najprawdopodobniej nie uzyskamy (ewentualnie mógłby on aktywować geny narządów homologicznych, takich jak ręce).

Rozważmy następnie szereg skomplikowanych kroków prowadzących do stworzenia latającej istoty ludzkiej. Wprawdzie już na początku przyszłego wieku cały genom ptaków może być zsekwencjonowany, ale identyfikacja olbrzymiej liczby genów odpowiedzialnych za powstawanie skrzydeł potrwa zapewne jeszcze długie dziesięciolecia. Ustalenie łączących je zależności, umożliwiających tworzenie właściwych kości, mięśni, ścięgien, piór, krwioobiegu, układu odpornościowego itd., może zabrać jeszcze więcej czasu.

Należałoby ponadto zastanowić się nad aerodynamiką. Puste kości są jedną z cech budowy, umożliwiających ptakom latanie. Ponieważ kości człowieka są pełne i w porównaniu z ptakami jest on dość ciężki, rozpiętość naszych skrzydeł musiałaby być ogromna. Zgodnie z rządzącą aerodynamiką zasadą Bernoulliego powinna ona wynosić około 6 metrów, co czyni ją porównywalną z rozpiętością lotni. Jednak wtedy siła mięśni potrzebnych do poruszania skrzydłami znacznie przekraczałaby wytrzymałość szkieletu człowieka. Skrzydła takie wymagałyby gruntownej przebudowy ludzkiego ciała, wprowadzenia potężnych mięśni grzbietu oraz lżejszych, ale bardziej wytrzymałych kości.

Następnie pojawiłby się problem włączenia do genomu człowieka genów kodujących skrzydła. Po pierwsze, trzeba by zmodyfikować geny skrzydeł ptasich tak, żeby osiągały rozpiętość rzędu przynajmniej 6 metrów. Już sama wielkość skrzydeł sprawiłaby mnóstwo kłopotów, jako że powiększenie skrzydeł ptaka ponaddziesięciokrotnie będzie wymagało odpowiednio większego dopływu krwi, silniejszych mięśni i twardszych kości.

W końcu musielibyśmy zmusić genom ludzki do zaakceptowania nowego zestawu genów. Być może wśród naszych genów homeotycznych dość łatwo dałoby się znaleźć miejsce, w które powinniśmy wstawić geny skrzydeł. Jednakże wszystkie inne narządy powinny wtedy również ulec

zmianom: mięśnie musiałyby być bardziej rozwinięte, a kości lżejsze. Poza tym włączenie tysięcy genów dla mięśni, kości i tkanek ptaka pomiędzy tysiące naszych genów wymagałoby dziesiątków lat prób oraz technik mikroiniekcji, których stopień zaawansowania przekracza wszelkie obecne wyobrażenia.

Trzeba zrozumieć, że umiejętność tworzenia transgenicznych zwierząt i roślin (dzięki transferowi pojedynczych genów) to coś zupełnie innego niż kreowanie chimer przez przenoszenie wielogenowych cech z innych gatunków. Transfer narządów między gatunkami zwierzęcymi (na przykład ptasich skrzydeł, rybich płetw czy trąby słonia) wymagałby technik, których prawdopodobnie nie będziemy znać po 2050 roku; być może pozostaną one tajemnicą do końca XXI wieku.

Inaczej mówiąc, większość fantastycznych stworów z dawnych legend *może* na zawsze pozostać tym, czym jest obecnie -mitami. Prawdziwe chimery będą dla biotechnologii zadaniem nie do wykonania co najmniej przez stulecie, a być może w ogóle.

Lecz pytanie nadrzędne w całych tych rozważaniach brzmi: czy manipulowanie ludzkim genomem jest etyczne? A jeśli tak, to w jakich granicach?

W następnym rozdziale zajmiemy się stroną etyczną rewolucji biomolekularnej. Wszak nie tylko obiecuje nam ona zdrowie i pomyślność, ale stanowi także wyzwanie dla naszych zasad moralnych. I być może ponownie zmusi nas do szukania odpowiedzi na pytanie, kim jesteśmy.

PO DŁUŻSZYM NAMYŚLE

Genetyka Nowego, Wspaniałego Świata?

Powiedzmy po prostu, że są pewne rzeczy, których się nie robi.

JAMES WATSON

Każda próba przekształcania świata i modyfikowania ludzkiej osobowości, aby odpowiadała nakreślonemu przez nas samych wzorcowi, pociąga za sobą wiele niezbadanych konsekwencji. Przeznaczeniem człowieka jest nieustanna gra, gdyż nie wiadomo, kiedy ani jak, ale natura odda cios.

RENE DUBOS, *Mirage of Health*, 1959

Sprowadzanie wszystkiego do poziomu molekularnego, będące motorem zmian w medycynie, stanowi zarazem nasze największe moralne wyzwanie. Musimy podjąć decyzję, do jakiego stopnia chcemy projektować naszych potomków.

ARTHUR CAPLAN, *Centrum Bioetyki Uniwersytetu Pensylwanii*

Przewrót, jaki dokonał się w wyniku badań nad DNA, implikuje co najmniej dwie zadziwiające i całkiem od siebie różne wizje przyszłości. Według jednej, inspirowanej przez przemysł biotechnologiczny, czeka nas zdrowie i pomyślność: terapie genowe wyeliminują choroby dziedziczne oraz, być może, staną się lekarstwem na raka; inżynieria molekularna dostarczy leków przeciwko infekcjom, a inżynieria genetyczna stworzy nowe gatunki roślin i zwierząt, co pozwoli wyżywić gwałtownie powiększającą się populację ludzką.

Odmianą od tej (i raczej ponurą) wizję przyszłości odmalował Aldous Huxley w niepokojącej, lecz proroczej powieści *Nowy, wspaniały świat*. Powstała ona w 1932 roku, gdy świat nadal chwiało się w posadach po kataklizmie pierwszej wojny światowej i przygniatającej nędzy czasów Wielkiego Kryzysu.

Akcja powieści toczy się w przyszłości, w epoce odległej o 600 lat. Powtarzające się serie wyniszczających wojen skłoniły przywódców świata do zaprowadzenia nowego porządku. Wzdragając się przed chaosem panującym w przeszłości, przywódcy decydują się wprowadzić utopię opartą na szczęściu i stabilizacji. Rezygnują z demokracji, wolności i sprawiedliwości, gdyż idee te wiodą do destabilizacji i nieładu. Być nieszczęśliwym oznacza pozostawać w kolizji z obowiązującym prawem. Kluczem do tego ustawowo zadekretowanego raju jest biotechnologia.

W wielkich fabrykach zarodków prowadzona jest masowa produkcja klonowanych dzieci,

tworzących system kastowy istot ludzkich: Alfa, Beta, Gamma, Delta i Epsilon. Ograniczając ilość tlenu dostarczaną zarodkom, naukowcy mogą powodować selektywne uszkodzenia mózgu, tworząc armię posłusznych robotników. Kretyni o ciężko uszkodzonych mózgach tworzą kastę Epsilonów, podludzi o umysłach starannie zaprogramowanych na życie w poczuciu radości, lecz wykonujących najniższego rodzaju posługi. Na przeciwległym biegunie znajdują się Alfy - kasta najwyższa, starannie wychowywana i przygotowywana do roli rządzącej elity. Szczęście zapewnia im nieustające, drętwe pranie mózgow i nieograniczony dostęp do otępiających narkotyków i seksu.

Skandalizująca powieść Huxleya wzburzyła opinię publiczną na świecie. Podejmowano wiele prób jej ocenzurowania. Tymczasem, jak na ironię, rzeczywistość przerosła bogatą wyobraźnię pisarza. W latach pięćdziesiątych pisał: "Umieściłem akcję w oddalonej o 600 lat przyszłości. A dzisiaj wydaje się, że podobnego rodzaju horror może stać się naszym udziałem w ciągu stu lat".⁵⁰⁰ Są podstawy do obaw, że i ten okres ulegnie skróceniu. Już obecnie wiele technologii przepowiadanych przez Huxleya jest w zasięgu ręki.

Przewidywania Huxleya okazały się prorocze. Pisał w czasach, kiedy prawa rządzące rozwojem zarodka nie były jeszcze znane. Tymczasem niecałe 40 lat później urodziła się Louise Brown, pierwsze dziecko z probówki. W latach osiemdziesiątych potencjalni rodzice mogli wybierać najbardziej im odpowiadający spośród licznych sposobów przekazania życia: zarodki mogą zostać zamrożone i odmrożone po latach, małżeństwa borykające się z problemem niepłodności mogą wynająć zastępczą matkę, nawet babcie mogą rodzić własne wnuki (zapłodnione jajo pobrane od dorosłej córki można zaimplantować w macicy jej matki). Dziejąca się na naszych oczach rewolucja biomolekularna może urzeczywistnić wiele innych przepowiedni Huxleya - klonowanie człowieka, selekcję hodowlaną i tym podobne metody.

Należy zatem postawić pytanie: jaką przyszłość wybierzemy?

W rozdziale tym przyjrzymy się bliżej wpływowi rewolucji bio-molekularnej na społeczeństwo. Czy dzięki niej los ludzkości zmieni się na lepsze, czy na gorsze? Mało kto podważa osiągnięcia oraz potencjał biologii molekularnej. Jednak nawet twórcy tego przełomu wyrażają obawy dotyczące jego etycznych aspektów, gdyby nadmierne sukcesy wymknęły się spod kontroli. W demokratycznym kraju jedynie poważna dyskusja prowadzona przez wykształconych obywateli może pozwolić na podjęcie dojrzałych decyzji względem technik tak potężnych, że mogą spełnić marzenia o sprawowaniu pełnej kontroli nad życiem.

Energia jądrowa a przewrót w genetyce

Wiedza, którą posiadziemy już na początku przyszłego wieku, może być wręcz niebezpieczna, a zatem stawia szereg wyzwań natury etycznej, socjologicznej i politycznej. Sytuacją wzorcową, na której przykładzie można dyskutować implikacje przewrotu w biologii molekularnej, jest postęp w badaniach nad energią jądrową.

⁵⁰⁰ Aldous Huxley: *Brave New World*. Harper, Nowy Jork 1946, s. XVII. Wyd. polskie: *Nowy, wspaniały świat*. Tłum.

Biolodzy molekularni chcieliby uniknąć powtarzania błędów, które popełniono podczas badań nad energią nuklearną. Badania te prowadzono początkowo w absolutnej tajemnicy, pod płaszczykiem bezpieczeństwa narodowego. Zabrakło wówczas publicznej dyskusji o konsekwencjach tego rodzaju prac, skutkiem czego w Stanach Zjednoczonych jest obecnie aż 17 nieszczęśliwych składów broni jądrowej, których uporządkowanie może kosztować ponad 500 miliardów dolarów. A koszty ludzkiego zdrowia są nie do oszacowania. Od lat czterdziestych prowadzono nieetyczne doświadczenia z promieniowaniem na 20 tysiącach niczego nie podejrzewających osób. Między innymi wstrzykiwano pluton w żyły nieświadomych tego faktu pacjentów, nad zamieszkanymi terenami uwalniano materiały radioaktywne, a także wystawiano kobiety w ciąży na działanie promieniowania.

W obawie przed podobną sytuacją inicjatorzy projektu poznania genomu człowieka przeznaczyci 3% budżetu na równoległe prowadzone badania nad etycznymi, prawnymi i społecznymi implikacjami głównego nurtu badań. W tym celu wyodrębniono w ramach projektu poznania genomu człowieka program o nazwie ELSI, Dział Badań nad Etycznymi, Prawnymi i Społecznymi Skutkami Projektu (*Ethical, Legal, and Social Implications Branch*). Zdarza się to chyba po raz pierwszy w historii, że w ramach potężnego, rządowego programu badawczego poświęca się choć ułamek środków na zbadanie skutków przewidywanych odkryć w szerszym, społecznym kontekście.

Zarówno zwolennicy, jak i przeciwnicy biotechnologii obawiają się, by nie doszło do sytuacji porównywalnej z awarią elektrowni jądrowej Three Mile Island, czyli do katastrofy spowodowanej ludzkim błędem, usterkami projektu albo niedoskonałościami techniki testowania, która mogłaby zagrozić życiu milionów ludzi i rzucić cień na cały przemysł biotechnologiczny.

Istnieje jednak zasadnicza różnica między rozwojem badań jądrowych a postępami biologii molekularnej. Otóż możliwe jest, przynajmniej do pewnego stopnia, sprawowanie kontroli nad konstruowaniem i produkcją broni jądrowej. Trzeba wyasygnować miliardy dolarów na stworzenie potężnej infrastruktury ośrodków badań atomowych, zakładów wzbogacania paliwa jądrowego, reaktorów oraz na zatrudnienie uczonych wysokiej klasy. Nie można realizować programu badań jądrowych we własnej piwnicy. Na przykład przepływ wzbogaconego uranu i plutonu podlega ścisłym przepisom administracyjnym i jest to jedna z głównych przyczyn, dla których tylko nieliczne państwa są obecnie w posiadaniu broni jądrowej.⁵⁰¹ Tego dżina nie można zamknąć z powrotem w butelce, można jednak kontrolować liczbę dżinów z niej wypuszczonych.

Natura inżynierii molekularnej jest całkowicie odmienna. Dysponując niewielkim kapitałem, rzędu 10 tysięcy dolarów, można rozpocząć eksperymenty biotechnologiczne choćby we własnym salonie, zmieniając genomy roślin i zwierząt. Kilka milionów dolarów pozwala stworzyć liczącą się

Bogdan Baran. Wydawnictwo Literackie, Kraków 1988.

⁵⁰¹ Do posiadania arsenałów jądrowych otwarcie przyznają się USA, Wielka Brytania, Francja, Rosja i Chiny. Status niektórych republik b. Związku Radzieckiego wciąż jest sprawą otwartą i nadal podlega negocjacom. Rząd Afryki Południowej przyznał się do skonstruowania w tym kraju siedmiu bomb atomowych, które jednak rozmontowano. Izrael jest podejrzewany o posiadanie 200 bomb. Indie przeprowadziły próbę jądrową w latach 70. Podejrzewa się również, że Pakistan posiada broń jądrową. Sytuacja Korei Północnej pozostaje w tym względzie ciągle niejasna.

już na rynku gałąź biotechnologii. Niski kapitał wstępny, szybkie zyski oraz możliwość zapewnienia swym obywatelom dostatku żywności to powody, dla których nawet kraj tak biedny jak Kuba postawił na biotechnologię.

Ale oznacza to również, że niemożliwe jest utrzymanie kontroli nad biotechnologią. Nie można ograniczyć przepływu DNA - związek ten jest wszędzie. Technologii tych nigdy nie będzie można zakazać, należy więc ustalić, które rodzaje technik należy promować, a które ograniczać - poprzez odpowiednie regulacje prawne bądź poprzez naciski społeczne lub polityczne.

Rośliny nie da się wycofać

Jane Rissler ze Stowarzyszenia Zatraskanych Uczonych obawia się, że brak odpowiedniego nadzoru może spowodować przedostanie się jakiegoś niebezpiecznego genu do naszego pożywienia, co u niczego nieświadomych konsumentów wywoła groźne alergie. (Podstawiono już, na przykład, pewien gen banana do pomidorów, a warzywa takie mogą trafić na talerze dzieci silnie uczulonych na banany). Rebecca Goldberg, stojąca na czele jednego z wydziałów Funduszu Ochrony Środowiska, podkreśla, że w USA żyje 5 milionów osób z alergiami pokarmowymi o różnym nasileniu, od łagodnych do zagrażających życiu. Na potwierdzenie swoich obaw Goldberg przywołuje niedawny przypadek przeszczepienia do soi genu orzechów brazylijskich. Jak wykazały przeprowadzone testy, soja taka wywoływała uczulenie i przedwcześnie wprowadzona do sprzedaży mogłaby stać się przyczyną wstrząsów alergicznych o śmiertelnych, być może, skutkach.⁵⁰²

Krytycy zwracają też uwagę, że Komisja ds. Żywności i Leków zezwala na wprowadzanie nowych rodzajów żywności na rynek bez odpowiednich testów, a Ministerstwo Rolnictwa upoważnia firmy biotechnologiczne do prowadzenia testów polowych bez starania się o zezwolenie. "Pomysł był dobry, ale sądzę, że przedobrzyli" - uważa Rebecca Goldberg.⁵⁰³

Pod wpływem silnych nacisków ze strony potentatów agrobiznesu Ministerstwo Rolnictwa uprościło proces testowania transgenicznych roślin. W latach 1987-1995 wydano 500 pozwoleń na prowadzenie testów polowych na 40 nowych gatunkach roślin (włączając w to jęczmień, marchew, cykorię, soję, orzeszki ziemne, brokuły, żurawinę, różne rodzaje owoców leśnych oraz arbuzy) przy minimalnym nadzorze.⁵⁰⁴

Goldberg zaniepokojona jest tym, że te same korporacje, które zajmują się produkcją pestycydów, zaczynają obecnie promować genetycznie zmienione gatunki roślin coraz bardziej opornych na ich działanie. W ten sposób, jej zdaniem, dbają po prostu o własne interesy. Ostateczny wynik będzie taki, że farmerzy, przekonani o niewrażliwości upraw na pestycydy, będą kupować jeszcze więcej tych środków. Spowoduje to wzrost zawartości pestycydów w pożywieniu oraz może grozić pojawieniem się mniej wrażliwych na nie nowych odmian szkodników. Praktyki takie mogą stać się przyczyną "wyścigu zbrojeń" między owadami a produktami inżynierii genetycznej. To z kolei mogłoby doprowadzić do powstania superszkodników odpornych na

⁵⁰² Wywiad z Rebecą Goldberg.

⁵⁰³ "New York Times", 27 sierpnia 1995, s. 30.

⁵⁰⁴ Wywiad z Rebecą Goldberg.

wysokie dawki pestycydów, a jednocześnie coraz więcej tych związków przenikałoby do produktów spożywczych.

Największym zagrożeniem jest jednak to, że nowe rośliny, nigdy dotąd nie występujące w przyrodzie w stanie naturalnym, mogą wymknąć się spod kontroli i zapanować nad całymi ekosystemami, wypierając ich naturalnych mieszkańców. To może prowadzić do zupełnie nieoczekiwanych skutków.

“Jeśli rośliny [transgeniczne] będą hodowane na wolnym powietrzu i nowe geny przedostaną się do puli genowej dzikich roślin, to cały system ekologiczny może ulec destabilizacji” - twierdzi Jeremy Rifkin z Fundacji Rozwoju Ekonomii, jeden z głównych krytyków rewolucji biotechnologicznej.

Obawy przed transgenicznymi roślinami wyraża zwięźle następujące stwierdzenie: “Nie można wycofać genetycznie zmodyfikowanych roślin”. Wiele krytycznie nastawionych osób wskazuje na nieprzewidywalne skutki wprowadzania, planowo lub przypadkowo, obcych gatunków do nowych środowisk, tak jak to było w wypadku pewnego gatunku małży zarastających osady denne i skały (*Dreissena polymorpha*), choroby wiązów holenderskich, azjatyckiego pnącza kudzu (*Pueraria lobata*) oraz zarazy kasztanów.⁵⁰⁵ Delikatna równowaga ekologiczna może ulec silnym zaburzeniom w obecności nowych gatunków.

Dobrym przykładem jest pewien gatunek pszczoł pochodzących z Afryki (*Apis mellifera adansonii scrutellata*, przez prasę nazywany czasami *killer bee*, pszczołami-mordercami), które rozmyślnie przeniesiono w 1957 roku do Brazylii, aby zastąpiły europejską pszczołę miodną (*Apis mellifera*), nie mogącą się zaaklimatyzować w tym równikowym kraju z powodu odmiennego cyklu dnia i nocy.⁵⁰⁶ W miarę jak kolejne królowe wymykały się na swobodę, ten wysoce agresywny gatunek pszczoły zaczął rozprzestrzeniać się w sposób niekontrolowany, siejąc spustoszenie w brazylijskim pszczelarstwie. W przeciwieństwie do spokojniejszych pszczoł europejskich, pszczoły z Afryki są niezwykle drażliwe - atakują i żądają tysiącami. Spowodowały już śmierć przynajmniej tysiąca osób. Są też przyczyną wielomilionowych strat.

Pszczoła afrykańska dominuje obecnie na obszarze ponad 20 milionów kilometrów kwadratowych zachodniej półkuli, w całej Środkowej i Południowej Ameryce. W 1990 roku gatunek ten dotarł do Teksasu, w Arizonie pojawił się w 1993 roku i przypuszcza się, że rozprzestrzeni się w całej południowo-zachodniej części USA, dopóki zimniejszy klimat północy nie powstrzyma tego pochodu około 2000 roku.

Oto wymowny przykład, jak człowiek, wprowadzając nowy gatunek - wystarczająco agresywny, żeby wyprzeć mniej wojowniczych naturalnych mieszkańców - może nieświadomie zburzyć równowagę istniejącego ekosystemu.

Zamiast pestycydów Rissler propaguje inną wizję przyszłego rolnictwa, “samopodtrzymującą się kulturę rolną”, w której korzysta się z “usług” naturalnych wrogów pewnych szkodników, zamiast

⁵⁰⁵ *Ibidem.*

⁵⁰⁶ *Ibidem.*

używać pestycydów. Tworząc zrównoważony ekologicznie układ gatunków owadzych, można kontrolować liczebność populacji pewnych szkodników przez wprowadzanie ich naturalnych przeciwników.

Kto jest właścicielem genomu?

Przeciwnicy biotechnologii twierdzą, że rozwikłanie tajemnicy życia powierzono firmom, które wyraźnie mają na celu jedynie własny interes. Magazyn "Science" zwrócił kiedyś uwagę na tę kwestię publikacją anonsonowaną na okładce tytułem "Kto jest właścicielem genomu?".

Daniel Cohen z Centrum Badania Ludzkich Polimorfizmów w Paryżu porównał próby patentowania genów do prób "usiłowania opatentowania gwiazd. [...] Patentując coś, czego zastosowania nie są znane, tłamsi się przemysł. To może prowadzić do katastrofy".⁵⁰⁷

Jeremy Rifkin stanął w 1996 roku na czele ruchu protestującego przeciwko opatentowaniu genu supresora raka piersi o nazwie *BRCA1*. Naukowcy z Myriad Genetics w Salt Lake City, gdzie wyizolowano ten gen w 1994 roku, opatentowali swoje odkrycie i zaczęli sprzedawać oparte na nim testy genetyczne. Przeciwnicy argumentowali, że opatentowanie tego genu może doprowadzić do naruszania prywatności kobiet, zwłaszcza jeśli informacja o wynikach opartych na nim testów przedostałaby się do firm ubezpieczeniowych. Zwracali również uwagę, że patentowanie genów tłumi współzawodnictwo w nauce, winduje ceny oraz pozwala sektorowi prywatnemu ciągnąć zyski z badań finansowanych ze środków publicznych.⁵⁰⁸

Collins uważa jednak, że ten drażliwy problem powoli sam się rozwiąże: "Kiedy zrealizujemy projekt poznania genomu człowieka, wszystkie sekwencje genów będą powszechnie dostępne i nikt już nie będzie mógł opatentować żadnego genu. Od tego momentu patentowanie (o ile dalej będzie istniała instytucja patentu, a myślę, że tak) będzie dotyczyło zastosowania sekwencji, wskazania, jak ten szczególny fragment genomu można wykorzystać do stworzenia produktu, który ma służyć ludziom. Sądzę, że tak będzie najlepiej".⁵⁰⁹

Geny i prywatność

"Czy powinno istnieć prawo pozwalające pobrać próbki DNA od kogoś oskarżonego o gwałt? - pyta James Watson. - Czy ktoś, kto startuje w wyborach prezydenckich, powinien złożyć oświadczenie na temat swojego DNA?".⁵¹⁰ Watson zastanawia się, co by było, gdyby J. Edgar Hoover, awanturniczy i bezwzględny dyrektor FBI, miał w swojej szufladzie profile genetyczne polityków? Dysponując teczkami zawierającymi dane o ich seksualnych i alkoholowych skłonnościach, Hoover terroryzował ich latami. Czy mógłby wywierać jeszcze silniejszy nacisk, gdyby dysponował kompletną informacją o konstytucji genetycznej polityków z Waszyngtonu?

Jak można powstrzymać kogoś od zgarnięcia kilku włosów z marynarki kandydata na prezydenta i zanalizowania zawartości genetycznej takiej próbki? Na przykład John Kennedy

⁵⁰⁷ Thomas F. Lee: *Gene Future*. Plenum Press, Nowy Jork 1993, s. 301.

⁵⁰⁸ "Discover", styczeń 1997, s. 78.

⁵⁰⁹ Wywiad z Francisem Collinssem.

mógłby nigdy nie zostać prezydentem, gdyby było powszechnie wiadomo, że cierpi na poważną chorobę nadnerczy, co wyszło na jaw dopiero po jego śmierci. Niedawno przeprowadzone badania próbek pobranych w 1967 roku od wiceprezydenta Huberta Humphreya wykazały, że występowała u niego pewna mutacja genu *p53* wiązana z rakiem pęcherza (Humphrey zmarł na raka w roku 1976). Przy współczesnym stanie techniki można by zdiagnozować jego predyspozycję do nowotworu przed wyborami w 1968 roku, co prawdopodobnie wyeliminowałoby go z wyścigu do fotela prezydenckiego. David Sidransky z Uniwersytetu Johns Hopkinsa, który kierował tymi badaniami, sądzi, że "mogłoby to wpłynąć na bieg historii politycznej".⁵¹¹

Obowiązkowe badania genetyczne wzbudzają podobne wątpliwości. Już obecnie w Stanach Zjednoczonych tworzy się banki danych DNA na podstawie testów DNA więźniów. Czy jednak rząd ma prawo zmuszać ludzi do poddania się testom wbrew ich woli? Arthur Caplan z Centrum Bioetyki uważa, iż za 30 lat koszty opieki zdrowotnej będą tak wysokie, że niektórzy członkowie rządu opowiedzą się wprowadzeniem przymusowych testów wykrywających choroby dziedziczne.⁵¹² W tej sytuacji rodzice dziecka, którego chorobie genetycznej można by zapobiec w przypadku przeprowadzenia wcześniejszych testów, nie mogliby liczyć na pokrycie kosztów leczenia.

Caplan sądzi, że za 15 lat głośniejsza od obecnej debaty na temat aborcji będzie dyskusja nad tym, czy decyzję o urodzeniu dziecka należy podejmować na podstawie testów genetycznych. Czy jesteś nieodpowiedzialny (-na), jeśli masz dzieci bez przeprowadzenia zawnazu badań genetycznych? Czy w tej sytuacji państwo powinno dopłacać do takiej genetycznej nieodpowiedzialności? W końcu, według Caplana, ludzie decydujący się na posiadanie potomstwa bez poddania się genetycznym testom mogliby stać się obywatelami drugiej kategorii.

I dalej, co będzie, jeśli informacja o naszym genomie, zwłaszcza w przypadku posiadania potencjalnie szkodliwych genów, przedostanie się do wiadomości publicznej, do naszego pracodawcy, do towarzystwa ubezpieczeniowego, dowie się o tym narzeczony (narzeczona)? Od niepamiętnych czasów społeczeństwo stosowało rodzaj genetycznej dyskryminacji. Osoby o widocznych deformacjach czy też rzucających się w oczy schorzeniach były wyśmiewane, uznawane za czarowników lub czarownice (na przykład chorzy na płasawicę Huntingtona), systematycznie izolowane od społeczeństwa albo nawet zabijane. Obecnie jednak można wykryć u danej osoby chorobę genetyczną, nawet jeśli ona nigdy się nie ujawni. Ktoś, kto nigdy nie cierpiał na żadne schorzenia genetyczne, może zostać pozbawiony ubezpieczenia lub pracy tylko dlatego, że występuje u niego dość wysokie prawdopodobieństwo tego typu choroby.

Nancy Wexler, dyrektor Działu Badań nad Etycznymi, Prawnymi i Społecznymi Skutkami projektu poznania genomu człowieka, twierdzi: "Sama informacja genetyczna nie jest w stanie wyrządzić szkód publicznych. To, co może człowiekowi zaszkodzić, to istniejące struktury społeczne, metody postępowania i przesady. Informacji genetycznej potrzebujemy już teraz, aby

⁵¹⁰ Lois Wingerson: *Mapping Our Genes*. Penguin Books, Nowy Jork 1990, s. 297.

⁵¹¹ "Newsweek", 23 grudnia 1996, s. 47.

⁵¹² Wywiad z Arthurem Caplanem.

dokonywać lepszych wyborów i lepiej żyć. Potrzebujemy lepszych sposobów leczenia, a możemy je ostatecznie osiągnąć właśnie korzystając z informacji genetycznej. Myślę więc, że rozwiązanie nie leży w ograniczeniu rozwoju nauki, ale we wprowadzeniu jakichś zmian w strukturach społecznych, tak by były one dostosowane do posiadania nowej wiedzy".

Zgodnie z danymi rozwiązanego już Urzędu ds. Oceny Technologii, agendy działającej niegdyś na zlecenie Kongresu Stanów Zjednoczonych, z powodów medycznych odmówiono ubezpieczenia zdrowotnego 164 tysiącom osób. W raporcie Urzędu ds. Oceny Technologii stwierdzono: "Od starających się o ubezpieczenie żąda się dostarczenia informacji o ich cechach genetycznych (na przykład podatności na anemię sierpowatą). Niektórzy eksperci sądzą, że w miarę jak testy genetyczne będą szerzej dostępne, coraz trudniej będzie otrzymać polisę ubezpieczeniową".⁵¹³

Podczas badań przeprowadzonych niedawno przez uniwersytety Harvarda i Stanforda wykryto 200 przypadków wypowiedzenia ubezpieczenia, zwolnienia z pracy lub odmowy zgody na adopcję dziecka właśnie ze względu na geny zainteresowanych osób.

Przeciwko dyskryminacji genetycznej Kongres Stanów Zjednoczonych wprowadził cztery nowe ustawy, a legislatury stanowe - dwadzieścia. Czternaście stanów wprowadziło oficjalnie zakaz tego rodzaju dyskryminowania obywateli. Prezydent Clinton podpisał w 1996 roku ustawę zabraniającą towarzystwom ubezpieczeniowym dyskryminacji klientów na podstawie "istniejącego uprzednio stanu".

Dyskryminacja genetyczna może okazać się również nieobojętna dla planów matrymonialnych. Ponieważ każdy z nas nosi w swoim genomie jakąś chorobę genetyczną, ujawnienie tego typu informacji mogłoby wyrządzić poważne szkody. Już obecnie działają agencje matrymonialne wyłącznie dla tych, którzy mają ujemny wynik badań na obecność wirusa HIV. W przyszłości może się okazać, że powstaną agencje kojarzące tylko takie osoby, których test DNA nie wskazuje na żadne potencjalnie śmiertelne choroby, np. nowotwory.

Collins sądzi jednak, że obawy dotyczące pojawienia się "ludzi samotnych z powodu genów" są przesadzone. "Tak wielkie zaniepokojenie okaże się nieuzasadnione, gdy zdamy sobie sprawę z tego, że wszyscy mamy cztery czy pięć porządnie pokręconych genów i kolejne dwadzieścia do trzydziestu średnio groźnych. Tak więc, czekając na genetycznie doskonałego partnera, spędzisz resztę życia w samotności. To się po prostu nie zdarzy. Przecież ty również nie oferujesz innym doskonałych genów. Wszyscy jesteśmy niedoskonali. Tak to już jest".⁵¹⁴

Czy geny to my?

Jedną z kwestii mogących prowadzić do poważnych nieporozumień jest związek między genami a zachowaniem człowieka. Wprawdzie geny mają wpływ na nasz behavior, ale mówienie o genie na takie czy inne zachowanie jest przesadą. Caplan uważa, że przez następnych trzydzieści do czterdziestu lat relacja między genami a zachowaniem będzie "tykającą bombą zegarową". Chociaż uważa, że zdolności matematyczne, typ osobowości, choroby umysłowe (depresja i

⁵¹³ Jeff Lyon, Peter Gorer: *Altered Fates*. W. W. Norton, Nowy Jork 1995, s. 484.

schizofrenia), homoseksualizm, alkoholizm czy otyłość mają podstawy genetyczne, ostrzega: "Jednoznaczne kojarzenie naszego zachowania z genami świadczyłoby o braku rozsądku. Przecież nawet bliźnięta żyjące w tym samym domu nie wykazują dokładnie takich samych zachowań".⁵¹⁵ Geny to tylko jeden ze składników mieszanki.

Christopher Wills z Uniwersytetu Kalifornijskiego w San Diego twierdzi: "Samo wyznaczenie sekwencji całego DNA człowieka nie będzie oznaczało, że dowiedzieliśmy się wszystkiego o istocie ludzkiej, tak jak przypatrywanie się sekwencji nut, którymi zapisana jest sonata Beethovena, nie jest równoznaczne z nabyciem umiejętności jej odegrania. Prawdziwymi wirtuozami genomu będą w przyszłości ci, którzy potrafią z tej informacji skorzystać oraz zrozumieć subtelne oddziaływania genów ze sobą nawzajem i ze środowiskiem".⁵¹⁶

Już pojawiły się pomyłki. W 1996 roku "New York Times" na pierwszych stronach obwieścił, że gen *D4DR* kontroluje "poszukiwanie nowości" u człowieka. Jednakże szerokie badania przeprowadzone na grupie 331 osób nie wykazały istnienia takiej korelacji.⁵¹⁷

Bardziej wątpliwe twierdzenie, które również nie ostało się po dogłębniejszych badaniach, dotyczy związku między genami a agresją. Wszystko zaczęło się od kontrowersyjnych wyników badań ogłoszonych w 1965 roku, mających świadczyć o tym, że spośród 197 pacjentów pewnego pilnie strzeżonego szpitala dla umysłowo chorych w Szkocji, 3,5% miało dość niezwykły zestaw chromosomów: XYY.⁵¹⁸ Na tej podstawie zrodził się stereotyp, jakoby mężczyźni z chromosomami XYY byli brutalni i nie całkiem normalni. Prasa ochrzciła chromosom Y chromosomem przestępców.⁵¹⁹ (Późniejsze badania wykazały, że w rzeczywistości mężczyzn z chromosomami XYY jest znacznie więcej niż przypuszczano, a 96% z nich prowadzi zupełnie normalne życie. Cechami najczęściej spotykanymi u osobników z układem XYY jest wysoki wzrost, inteligencja przewyższająca przeciętną oraz niewyraźna wymowa).

Wynika stąd lekcja na przyszłość. Około 2020 roku, kiedy będą już dostępne osobiste sekwencje DNA, wielokrotnie usłyszymy, że ktoś wyizolował gen agresji. Będzie można z łatwością znaleźć dowolnie wiele genów wykazujących korelację z populacjami więźniów. Z pewnością badacze odnajdą geny, które, przynajmniej przy pobieżnych obserwacjach, będą się wydawać związane z gwałtownym charakterem poszczególnych osób. Na przykład z pewnością zostaną odkryte geny wpływające na produkcję męskich hormonów, takich jak testosteron, o którym niektórzy sądzą, że w pewnych warunkach zwiększa agresję. Jednak twierdzenie, że są to właśnie geny agresji, może być dużym błędem. Chociaż zapewne u niewielkiego ułamka osobników agresywnych istotnie napotkamy tego rodzaju geny, to brutalność znacznej ich większości z pewnością da się powiązać z zupełnie innymi czynnikami (na przykład biedą czy rasizmem).

Kontrowersje wokół tej sprawy wybuchły z nową siłą w 1992 roku, kiedy podjęto przygotowania

⁵¹⁴ Wywiad z Francisem Collinsem.

⁵¹⁵ Arthur Caplan, wywiad z autorem, 21 lipca 1996.

⁵¹⁶ Christopher Wills: *Exons, Introns, and Talking Genes*. Basic Books, Nowy Jork 1991, s. 10.

⁵¹⁷ "Washington Post", 4 listopada 1996, s. A2.

⁵¹⁸ Zwykle mężczyźni mają układ chromosomów XY, a kobiety XX.

⁵¹⁹ Wingerson: *Mapping Our Genes*, s. 95.

do ważnej konferencji poświęconej genetyce i agresji, finansowanej przez rząd federalny. Czarnoskórzy Amerykanie oskarżyli organizatorów konferencji o niewłaściwe wyważenie programu, z którego można było wysnuć wnioski, że geny są główną przyczyną agresji, a nie tylko jednym z wielu czynników ją wywołujących. "Wystarczy przypomnieć sobie, że kiedyś argumenty genetyczne przywoływano, by uzasadnić, że czarni są potulni i posłuszni - w ciągu jednego pokolenia stali się z kolei genetycznie agresywni. To nie jest żadna nauka. To jest wykorzystywanie psychiatrii i nauki w interesie rasistowskiej polityki społecznej" -mówi Peter Breggin, psychiatra.⁵²⁰

Kolejny nierozstrzygnięty spór, który będzie się zapewne ciągnął jeszcze przez dziesiątki lat, dotyczy delikatnej kwestii rasy, a także ilorazu inteligencji (IQ). Większość biologów molekularnych z zasady unika uproszczonych poglądów, według których geny są jedynym źródłem ludzkich zachowań. Jednakże istnieje tendencja, zwłaszcza wśród grup skrywających swe sympatie polityczne, aby wykorzystywać wyniki badań genetycznych do uzasadniania przesadzonych częstokroć opinii.

Ogólnonarodowe poruszenie w kwestii DNA, genetyki i rasy wywołała w USA książka *The Bell Curve (Krzywa dzwonowa)* autorstwa Richarda Hernsteina i Charlesa Murraya, wydana w 1995 roku. Sprowokowała ona narodowy spór i zaogniła dawne rany.

Niektóre fakty nie podlegają dyskusji. W testach na iloraz inteligencji (IQ) czarnoskórzy Amerykanie konsekwentnie lądują o niemal 10% niżej od białych, zaś Azjaci wypadają od tych ostatnich zawsze trochę lepiej. Ale czy oznacza to, że Amerykanie pochodzenia azjatyckiego są naprawdę trochę inteligentniejsi od białych, którzy są z kolei o 10% inteligentniejsi od Murzynów?

Z ewolucyjnego punktu widzenia, istnienie silnej zależności między rasą i inteligencją wydaje się nieprawdopodobne. Odmienne rasy ludzkie zaczęły się różnicować na Ziemi jakieś 100 tysięcy lat temu w wyniku fal migracji z Afryki. Było to znacznie później niż powstanie ludzkiego mózgu, którego ewolucja trwała miliony lat. Tak więc rasy są względnie świeżym zjawiskiem, podczas gdy ludzka inteligencja jest w porównaniu z nimi bardzo stara. (Co więcej, analiza DNA jasno wykazuje, że największe zróżnicowanie genetyczne spotyka się w obrębie poszczególnych ras, a nie między nimi. Tak więc dystans genetyczny między Richardem Hernsteinem a Nelsonem Mandelą, na przykład, mógłby okazać się mniejszy niż różnice genetyczne między Hernsteinem a Murrayem).

Caplan twierdzi, opierając się na opiniach wielu innych badaczy, że inteligencja jest właściwie wielowymiarowa i liczne jej strony są kompletnie pomijane w testach IQ. Dochodzi on do wniosku, że: "*The Bell Curve* to dość głupia książka. Psychiatrzy i genetycy dobrze wiedzą, że inteligencja jest bardzo skomplikowaną cechą, na którą składa się wiele rzeczy. Każdy z nas zna kogoś, kto jest dobry w rachunkach, ale ma kłopoty z nawiązywaniem kontaktów towarzyskich. Albo ludzi, którzy świetnie orientują się w okolicy, oraz innych, którzy nie potrafią trafić do własnego domu. Bardzo wiele różnych czynników składa się na inteligencję. Nie znalazło to odzwierciedlenia w *The*

⁵²⁰ "Washington Post", 29 stycznia 1995, s. C4.

Bell Curve".⁵²¹

I jeszcze jedna uwaga na przyszłość. Niektórzy obserwatorzy zauważyli, że kwestia rasy i inteligencji ujawnia się zawsze w czasach trudności gospodarczych. Cykliczny charakter gospodarki kapitalistycznej nieuchronnie objawi się również w XXI wieku wieloma okresami recesji. Szukający kozłów ofiarnych demagodzy znajdą chętnych słuchaczy wśród milionów ludzi pozbawionych pracy. Z analizy historii Ameryki wynika, iż rasistowskie teorie inteligencji zyskują zwykle popularność w czasach kryzysów ekonomicznych, kiedy ludzie czują się szczególnie zagrożeni nowymi falami imigrantów. W 1923 roku, na przykład, Carl Brigham opublikował *A Study of American Intelligence (Badania inteligencji w Ameryce)*, pracę, w której dowodził, że rasy alpejska i śródziemnomorska stoją niżej niż rasa nordycka, Afrykanie zaś plasują się poniżej obu. Była to woda na młyn tych, którzy optowali za usuwaniem emigrantów pochodzących z południowej i wschodniej Europy, zwłaszcza Włochów i Żydów. "Najważniejszym powodem ograniczenia napływu obcego żywiołu (...) jest konieczność oczyszczenia i utrzymania czystości krwi amerykańskiej" - oświadczył jeden z kongresmanów.⁵²² Prezydent Calvin Coolidge, który podpisał Ustawę Imigracyjną, wprowadzającą limity imigracyjne dla poszczególnych narodowości, wypowiedział się w podobnym duchu: "Prawa biologii wskazują [...], że stan rasy nordyckiej pogarsza się w przypadku mieszania z innymi rasami".⁵²³

Po roku 2020: manipulowanie zarodkami?

Po 2020 roku pojawią się prawdopodobnie nowe problemy etyczne. Terapia genowa, którą omawiałem w rozdziale ósmym, polega na manipulowaniu genami komórek somatycznych. Naprawionych genów nie można w związku z tym przekazać następnym pokoleniom. Każdy w końcu musi umrzeć i wtedy giną też nowe geny. Lecz terapia genowa komórek linii płciowej zmieniłaby genom komórek rozrodczych i w ten sposób nowy gen mógłby być stale przekazywany naszemu potomstwu. Podobnie jak w przypadku transgenicznych myszy, metoda mikroiniekcji zastosowana do zarodka ludzkiego mogłaby trwale zmienić potomstwo pacjenta, eliminując w ten sposób na zawsze z danej rodziny, powiedzmy, mukowiscydozę.

Chociaż idea eliminowania chorób genetycznych poprzez terapię genową komórek linii płciowej wygląda pociągająco, wiąże się z nią także ogromne potencjalne niebezpieczeństwa. Większość badaczy jest jej przeciwna. W 1988 roku Europejska Rada ds. Badań Naukowych stwierdziła stanowczo: "Terapii genowej komórek linii płciowej nie należy brać pod uwagę".⁵²⁴ Wśród uczonych nie ma jednak pełnej zgody.⁵²⁵

Czy rodzice opowiedzieliby się za taką terapią genową, gdyby pozwalała im ona wybrać wzrost,

⁵²¹ Wywiad z Arthurem Caplanem.

⁵²² Enzo Russo, David Cove: *Genetic Engineering*. W. H. Freeman, Nowy Jork 1995, s. 170.

⁵²³ Thomas F. Lee: *The Human Genome Project*. Plenum Press, Nowy Jork 1991, s. 276.

⁵²⁴ Lee: *Gene Future*, s. 160.

⁵²⁵ Uczestnicy spotkania zorganizowanego przez Radę Międzynarodowych Organizacji Nauk Medycznych w Japonii w roku 1990 przyjęli nieco inną postawę wobec tego problemu: "Chociaż terapia genowa linii zarodkowej nie jest obecnie brana pod uwagę, to istnieje potrzeba dalszej dyskusji na ten temat. Nie należy przedwcześnie odrzucać możliwości terapii komórek linii zarodkowej. Nie jest wykluczone, że kiedyś metoda ta umożliwi rozwiązania kliniczne, których nie

płeć, siłę, kolor włosów i oczu ich dziecka?

"Też pytanie. Ależ oczywiście!" - odpowiada Arthur Caplan.⁵²⁶ Już teraz wiadomo, że niektóre rodziny są gotowe zapłacić za podobną możliwość. Rodzice przecież kształtują swoje dzieci na setki sposobów, załatwiają im lekcje gry na fortepianie, kursy języków obcych, zajęcia sportowe itp. "Myślę, że nie ma żadnych wątpliwości co do tego, że wielu rodziców chciałoby wykorzystać informację genetyczną, aby móc zaprojektować swoje dzieci" - twierdzi Caplan.⁵²⁷

Powstaje zatem pytanie: jaka powinna być rola lekarza? Czy lekarz jest tylko usługodawcą, spełniającym żądania klienta? Czy też chcemy, by lekarze stali się rzecznikami i strażnikami moralności, decydującymi, które terapie są etyczne, a które nie? Caplan przewiduje, że czeka nas "drastyczna debata nad moralnością".⁵²⁸

Natomiast prawny zakaz stosowania terapii genowej linii płciowej może spowodować powstanie czarnego rynku, zwłaszcza w krajach Trzeciego Świata. Nawet prosty test określający płeć nienarodzonego dziecka powoduje ogromne zamieszanie demograficzne.

"Stosowanie tej techniki do decydowania o płci dziecka obraża powody mojej decyzji wyboru genetyki jako specjalności. Płeć nie jest chorobą, tylko cechą!" - podkreśla z naciskiem Francis Collins.⁵²⁹

Czy rodzice, na przykład, będą chcieli mieć głównie potomków męskich, wysokich, silnych i przystojnych? Odpowiedź, w wielu krajach i w wielu rodzinach, brzmi, niestety, tak. Prawa ewolucji nakazują, by zwierzęta starały się przekazać swojemu potomstwu wszelkie możliwe korzyści genetyczne. Nie inaczej jest z ludźmi. Świadomie bądź nieświadomie, chcemy, żeby nasze dzieci miały jak najlepszy start w życiu.

Dla biednych rodzin z krajów Trzeciego Świata majstrowanie przy genach nienarodzonych jeszcze dzieci byłoby jednym ze sposobów wyrwania się z zakłętego kręgu biedy. Ale cóż tu wspominać o modyfikacjach genowych, które staną się realne nie wcześniej niż w przyszłym stuleciu, skoro wprowadzenie tak prostego urządzenia jak USG powoduje w Chinach i Indiach potężne zaburzenia demograficzne, mogące mieć opłakane skutki dla następnego pokolenia.

W olbrzymiej części krajów rozwijających się rodziny chłopskie przykładają wielką wagę do posiadania męskiego potomstwa. Chłopcy są nie tylko dziedzicami nazwiska i wielu przywilejów istniejących po dziś dzień w systemach feudalnych. Rodziców dziewczynki czeka przygotowanie kosztownego wiana niezbędnego do zamążpójścia córki, co jest poważnym wydatkiem dla ubogich rodzin. Monica Das Gupta z Uniwersytetu Harvarda uważa, że tylko w latach 1981-1991 Indie straciły milion dziewczynek na skutek rozpowszechnienia techniki ultrasonografii, która pozwala odczytać płeć płodu i dokonać aborcji. Ponadto cztery miliony dziewczynek w ich pierwszych 4-6 latach życia "zniknęło". Inaczej mówiąc, 3,6% żeńskiej populacji w tym przedziale wieku po prostu

będzie można osiągnąć żadną inną drogą" (*ibidem*, s. 161).

⁵²⁶ Wywiad z Arthurem Caplanem.

⁵²⁷ *Ibidem*.

⁵²⁸ *Ibidem*,

⁵²⁹ Wywiad z Francisem Collinsem.

przestało istnieć.⁵³⁰

Dzieciobójstwa są niezamierzonym efektem ubocznym chińskiej polityki "jednego dziecka na rodzinę", dzięki której udało się jednak zapanować nad eksplozją demograficzną. Z nieoficjalnych danych wynika, że na terenach wiejskich "zaginęło" nawet do 10 milionów dziewczynek. Na południowym wybrzeżu Chin zamiast normalnych proporcji płci noworodków: 100 dziewczynek na 103 chłopców, zaobserwowano w 1995 roku 100 dziewczynek na 115,4 chłopca.⁵³¹

Jeśli wprowadzenie zwykłego USG mogło wyzwolić taki koszmar demograficzny, to wyobraźmy sobie tylko, jakie wrzenie społeczne mogłaby wywołać możliwość genetycznej kontroli potomstwa. Aby dać przedsmak tej sytuacji, spójrzmy na przypadek ludzkiego hormonu wzrostu (HGH), do którego otrzymywania kwalifikują się wyłącznie dzieci cierpiące na jego niedobór lub chroniczną niewydolność nerek. Niedawne badania wykazały, że spośród dzieci, którym podawano HGH, 60% nie spełniało tych warunków. Najwyraźniej przewrażliwieni na punkcie wzrostu swoich dzieci rodzice wywierali naciski na lekarzy, aby przepisali HGH, mimo że kuracja kosztuje do 16 tysięcy dolarów rocznie.⁵³²

Nie ulega wątpliwości, że w XXI wieku niezbędna będzie prawna ochrona genomu człowieka, a zwłaszcza komórek linii płciowej, przed nieokiełznanym wścibstwem nauki. Niektórzy twierdzą, że zgubne w skutkach defekty genetyczne, wywołujące od pokoleń dotkliwy ból i nieopisane cierpienia, powinny zostać na zawsze wyeliminowane z komórek linii płciowej. Inni przekonują, że istnieje prawo niezamierzonych efektów ubocznych, i zabawiając się w Pana Boga, nieopatrznie doprowadzimy do jeszcze większych cierpień w przyszłości. Kwestią, która zdominuje w XXI wieku batalię na temat etycznych stron manipulowania genami, będzie właśnie pytanie o miejsce, w którym należy postawić tę granicę. Wielu uczonych sądzi, że majstrowanie przy genach komórek rozrodczych po to, by uzyskać efekty czysto kosmetyczne, powinno być zabronione, gdyż jest to lekkomyślne stosowanie potężnej i potencjalnie bardzo niebezpiecznej techniki. Jednakże, jeśli zostanie dowiedzione, że takie zdumiewające choroby jak płasawica Huntingtona są wyłącznie źródłem cierpienia, będzie to silnym argumentem za tym, aby podobne błędy genetyczne wyeliminować na zawsze z komórek linii płciowej.

Może się okazać, że nie ma jednoznacznej odpowiedzi na pytanie, w którym miejscu powinna przebiegać linia demarkacyjna. Wszak odczucia społeczne i możliwości naukowe ewoluują z czasem. Ale skoro losowe błędy natury chemicznej, promieniowanie kosmiczne, zatrucie środowiska, nieodpowiednie odżywianie i inne czynniki środowiska będą stale powodować nowe mutacje w naszym genomie, pytania te pozostaną aktualne jeszcze przez setki lat.

Sklonować człowieka

Niektóre przepowiednie Huxleya z książki *Nowy, wspaniały świat* pozostają wciąż wizją przyszłości. Nie jest obecnie możliwe przeprowadzenie w próbówce procesu rozwoju zapłodnio-

⁵³⁰ "Washington Post", 11 maja 1996, s. A1.

⁵³¹ "New York Times", 7 czerwca 1996, s. A11.

⁵³² "Science News", 7 września 1996, s. 154.

nego jaja. W związku z tym wizja Huxleya, według której rodzenie dzieci zastąpione zostanie ich hodowlą w fabrykach zarodków, jest daleko poza zasięgiem dzisiejszych możliwości. Odtworzenie delikatnego, niezwykle złożonego chemicznie środowiska macicy, w którym ludzki płód jest przez 9 miesięcy odżywiany, będzie technicznie nieosiągalne jeszcze przez kilka dziesięcioleci.

Natomiast klonowanie ludzi jest już niemal w zasięgu naszych możliwości. Zdumiewające doniesienie Iana Wilmuta o zakończonym powodzeniem sklonowaniu dorosłej owcy stworzyło poważne problemy natury etycznej i społecznej. Wielu biologów sądzi, że już tylko techniczne i prawne bariery stoją na przeszkodzie sklonowaniu człowieka.

Powodów tworzenia ludzkich klonów jest niemało, od niezbyt mądrych, poprzez ludzkie, do fantastycznych:

- Wybitni sportowcy z różnych dziedzin sportu, także z przeszłości, mogliby być sklonowani w celu stworzenia przynoszącej wielkie zyski drużyny marzeń.

- Bogacze i starzejący się bezdzietni monarchowie, nie mający komu przekazać fortun i tronów, mogliby przekazywać je swoim klonom.

- Rodzice mogliby chcieć sklonować dziecko, które zmarło na nieuleczalną chorobę lub zginęło w wypadku.

- Komórki ludzi sławnych lub wyjątkowo urodziwych mogłyby być wykradane i sprzedawane za duże sumy pieniędzy tym, którym marzą się takie dzieci.

- Dochodziłoby do bezczeszczenia grobów sławnych ludzi dla wydostania próbek DNA, z których można by jeszcze przeprowadzić klonowanie.

- Dyktatorzy mogliby tworzyć armie sklonowanych żołnierzy lub niewolników o nieprawdopodobnej sile i ograniczonych zdolnościach umysłowych albo jakichś hybryd przypominających zwierzoludy z *Wyspy doktora Moreau*.

Także inne zastosowania, na przykład klonowanie osób przeznaczonych do wykonywania podrzędnych prac na rzecz społeczeństwa, jak to przewidział Huxley w *Nowym, wspaniałym świecie*, wydają się prawdopodobne, gdy uświadomimy sobie, że już teraz obserwuje się import taniej siły roboczej do wykonywania niewdzięcznych prac w krajach uprzemysłowionych.

Niektórzy rozważają nawet mityczne społeczeństwo klonów, w którym mężczyźni staliby się zbędni. Partenogeneza - proces, w którym kobieta rodzi potomstwo bez udziału mężczyzny - mogłaby się stać dominującym sposobem rozmnażania. (Na dłuższą metę społeczność taka okazałaby się prawdopodobnie niestabilna. Jedną z ewolucyjnych przyczyn istnienia płci jest zapewnienie różnorodności genetycznej, istotnej dla przetrwania gatunku w ustawicznie zmieniającym się otoczeniu).

Z pewnością pojawi się popyt na klonowanie, bez względu na normy prawne. Jeśli niektóre pary marzą o "wykapanym ojcu", to czemu nie postarać się o jego wierną kopię? Inni postrzegają klonowanie jako realizację odwiecznego marzenia o nieśmiertelności. Prawdopodobnie to właśnie pragnienie życia wiecznego kazało faraonom egipskim wznosić piramidy, a opuszczającym ten świat królom budować wspaniałe grobowce. Klonowanie oferuje nieskończenie tańszą formę nie-

śmiertelności.

W związku z klonowaniem pojawia się jeszcze wiele nierozstrzygalnych kwestii. Teologowie zastanawiają się, czy ludzki klon będzie miał duszę. Poza tym, jeśli człowiek może być klonowany bez końca, to co określa jego indywidualność i istotę? Etycy rozważają, czy mamy moralne prawo projektować według własnych pragnień nasze potomstwo, które przecież nie może w tej kwestii wypowiedzieć swojego zdania. Moralistów przeraża myśl o setkach zarodków, jakie poświęcać się będzie tylko po to, żeby sukcesem zakończyło się wytworzenie jednego klonu. Prawnicy zastanawiają się nad prawami przysługującymi klonom - czy będą ich dotyczyć przywileje, zobowiązania i prawa poprzedników? Jeśli klony będą tworzone w celu hodowli narządów zastępczych, to co zrobić, jeśli odmówią poświęcenia swojego życia?

Niektóre rzeczy są oczywiste. Nie ma żadnych gwarancji, że klonowanie sławnych ludzi doprowadzi do powstania równie wspaniałego potomstwa. Na przykład, w filmie *Chłopcy z Brazylii* neonaziści klonowali młode wersje Hitlera w celu wskrzeszenia III Rzeszy. Wielu historyków sądzi jednak, że czynnikiem, który umożliwił powstanie faszyzmu i wyniósł Hitlera do władzy, był kryzys niemieckiej gospodarki w latach trzydziestych i towarzyszące mu załamanie się klasy średniej. Ruch społeczny lub polityczny rzadko jest dziełem jednego człowieka. Sklonowanie Hitlera mogłoby skończyć się zaledwie stworzeniem drugorzędneho artysty. Podobnie, sklonowanie Einsteina nie gwarantuje powtórnych narodzin wielkiego fizyka. Einstein żył w czasach, kiedy fizyka przeżywała głęboki kryzys; obecnie natomiast jej największe problemy zostały już rozwiązane. Wielkie osobowości są prawdopodobnie w równej mierze produktem czasów przełomu i dużych możliwości, jak korzystnej konfiguracji genów.

Prawdopodobnie klonowanie ludzi zostanie zakazane w większości krajów. Jeszcze przed ogłoszeniem wyników doświadczeń Wilmuta w Wielkiej Brytanii wprowadzono w życie ustawę zabraniającą eksperymentów na ludzkich zarodkach (*Human Embryo Act*). W USA już wcześniej prezydent Bill Clinton ograniczył wydatki federalne na badania nad ludzkimi zarodkami. W 1997 roku powołany przez Clintona zespół specjalistów zaproponował wprowadzenie moratorium na okres co najmniej trzech lat na badania w tej dziedzinie, zarówno te finansowane ze środków publicznych, jak i prywatnych.

Jak na ironię, jest bardzo prawdopodobne, że klonowanie ludzi stanie się wkrótce faktem, o ile nie pojawią się nieprzewidziane trudności techniczne. Prawa zabraniające klonowania zepchną po prostu prace nad nim do laboratoriów prywatnych, zagranicznych lub do podziemia. Wszak koszty wstępne tych badań są niezwykle niskie, a kwestia zysków wygląda bardzo obiecująco.

Według niektórych przewidywań same prawa wolnego rynku spowodują powstanie małego, ale prężnego nielegalnego przemysłu skupionego na klonowaniu. "Nie sądzę, by dało się temu zapobiec. Jesteśmy zdani na łaskę osiągnięć techniki. Jeżeli już raz się pojawią, nie możemy ich odwołać" - mówi Daniel Callahan, bioetyk z Centrum Hastings w Briarcliff Manor.⁵³³

Jest prawdopodobne, że w przyszłości niewielki procent społeczeństwa istotnie będą stanowić

⁵³³ "Time", 10 marca 1997, s. 72.

klony. Przeważająca część ludzi zaakceptuje obecność niewielkiej liczby klonów, tak jak przyzwyczailiśmy się do istnienia dzieci z probówki, zastępczych matek i innych "nienaturalnych" sposobów powoływania na świat potomstwa.

Pomimo wielkich kontrowersji dotyczących klonowania, ostatecznie znaczenie klonów dla sytuacji społecznej może okazać się znikome. Ludzie rozumieją, że kilka sklonowanych osób nie stanowi zagrożenia. W końcu i tak żyjemy w świecie, w którym istnieją bliźnięta. O wiele bardziej zdradliwym aspektem klonowania jest niebezpieczeństwo, że odżyją ruchy propagujące eugenikę.

Eugenika

Zapomina się czasami, że eugenika ma w USA długą i niechlubną historię, głęboko zakorzenioną w kulturze tego kraju.

Żołędziem i głównym propagatorem tego ruchu był Francis Galton, kuzyn Karola Darwina. Zainspirowany pracami Darwina, Galton spędził kilkadziesiąt lat na studiowaniu rodowodów wybitnych pisarzy, filozofów, artystów i polityków i na tej podstawie doszedł do wniosku, że ich wielkie zdolności przekazywane były z pokolenia na pokolenie. (Pochodzący z bogatej rodziny Galton był najwyraźniej nieświadomy znaczenia czynników środowiskowych. Nie przyszło mu nawet do głowy, że wśród ludzi ubogich rzadko pojawiają się, na przykład, wielcy mężowie stanu, gdyż większość czasu spędzają oni, walcząc o przetrwanie).

Ostatecznie Galton uznał na podstawie swoich badań, że byłoby pożądane "stworzyć obdarzoną wielkimi zdolnościami rasę ludzką poprzez odpowiedni dobór małżeństw w ciągu kilku pokoleń". W 1883 roku ukuł on termin "eugenika" (z greckiego: dziedzicznie wyposażony w szlachetne przymioty).⁵³⁴ Czyniono nawet próby wyhodowania doskonałej rasy. Elisabeth Nietzsche, siostra znanego filozofa, wyselekcjonowała grupę osobników "czystej krwi" i pożeglowała na ich czele do Paragwaju, by założyć Nueva Germania (Nowe Niemcy). Zdaniem genetyka Steve'a Jonesa: "Obecnie mieszkańcy Nueva Germania są biedni, osłabieni ciągłym krzyżowaniem wsobnym i chorzy. Utopia legła w gruzach".⁵³⁵

Jednym z wyznawców Galtona był Charles Davenport, profesor Uniwersytetu w Chicago. Dzięki dużym wpływom udało mu się założyć w Cold Spring Harbor na Long Island dużą instytucję zbierającą masowo dane o genetycznej historii rodzin. Książka Davenporta *Heredity in Relation to Eugenics [Dziedziczność a eugenika]* niewątpliwie przyczyniła się do ożywienia ruchu eugenicznego w Stanach Zjednoczonych. W książce tej Davenport nie tylko wzywał do selektywnego rozmnażania się artystów, muzyków, uczonych itp. w celu wzmocnienia ich przymiotów intelektualnych, ale sądził także, że do wyeliminowania osobników o niepożądanych cechach konieczne może się okazać użycie siły. "Społeczeństwo powinno się bronić - pisał Davenport. - Tak jak przyznaje sobie ono prawo do pozbawienia życia mordercy, tak mogłoby również niszczyć odrażającego węża beznadziejnie zdegenerowanej protoplazmy".⁵³⁶

⁵³⁴ Lee: *The Human Genome Project*, s. 275.

⁵³⁵ Steve Jones: *The Language of Genes*. Anchor Books, Nowy Jork 1993, s. 224.

⁵³⁶ *Ibidem*, s. 224.

W 1927 roku słowa te uzyskały status prawny. Sąd Najwyższy Stanów Zjednoczonych w sprawie *Buck v. Bell* podtrzymał wówczas prawomocność przeprowadzenia sterylizacji dokonanej na podstawie przepisów sterylizacyjnych stanu Wirginia. Sędzia Oliver Wendell Holmes uzasadniał to następująco: "Będzie lepiej dla całego świata, jeśli zamiast czekać na skazanie zdegenerowanego potomstwa za popełnione przez nich przestępstwa, albo zezwolić mu na głodowanie z powodu niedorozwoju umysłowego, społeczeństwo powstrzyma tych, którzy w oczywisty sposób nie nadają się do przedłużania rodzaju ludzkiego. Prawo, które zezwala na przymusowe szczepienia, jest wystarczająco szerokie, by uzasadnić również przecięcie jajowodów".⁵³⁷

Do 1930 roku 24 stany wprowadziły przepisy prawne zezwalające na sterylizację szerokiego grona "niepożądanych", włączając w to przestępców, epileptyków, szaleńców i niedorozwiniętych umysłowo. W USA do 1941 roku wysterylizowano 36 tysięcy osób.

Naziści, dla których ruch eugeniczny w USA był prawdziwą inspiracją, otwarcie wyrażali głęboką wdzięczność Stanom Zjednoczonym. Eugenika stała się integralną częścią ideologii nazistowskiej, opartej na wyższości aryjskiej "rasy panów". Ofiarami abstrakcyjnych, teoretycznych idei eugeniki, wcielonych w życie w Niemczech, były miliony ludzi - prześladowanych, wtrącanych do obozów śmierci, zagazowanych.

W Stanach Zjednoczonych nadal krąży wiele pomysłów tego typu. W latach osiemdziesiątych współwynalazca tranzystora, laureat Nagrody Nobla, fizyk William Shockley, wezwał innych noblistów do "wniesienia wkładu" do banku spermy. Każda godna kobieta mogłaby wtedy spełnić swój obowiązek wobec ludzkości i poprawić ludzką rasę, pozwalając zapłodnić się nasieniem z banku spermy geniuszy.

W dalszej perspektywie obawy budzi możliwość, że tylko najbogatsi będą mogli poprawiać swoje komórki płciowe, co pozostawi część społeczeństwa w tyle, powodując wytworzenie nowego systemu kast biologicznych. Gregory Kavka, filozof z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Irvine, mówi: "Każdy ruch w stronę genetycznych usprawnień może potencjalnie doprowadzić do odtworzenia nierówności społecznych, tym razem według nowych linii podziałów. Stare arystokracje oparte na urodzeniu, kolorze skóry czy płci rozpląną się, ustępując miejsca nowej, genetycznej arystokracji, »genetokracji«".⁵³⁸

Jeśli wyłącznie bogaci będą mieli dostęp do poprawiania komórek płciowych, linie podziałów społecznych mogą stać się w końcu otchłaniami nie do przebycia (wizję takiego koszmarnego, dwuwarstwowego społeczeństwa przedstawił w *Wehikule czasu* H. C. Wells: Morlokowie w ciężkim trudzie obsługiwali maszyny w podziemnych pieczarach, a dziecienni Eloje dokazywali i swawolili na powierzchni).⁵³⁹

W przyszłości społeczeństwo powinno mieć się na baczności przed tymi, którzy będą chcieli wykorzystać dobrodziejstwa rewolucji genetycznej w celu wzmocnienia własnej pozycji społecznej.

⁵³⁷ *Ibidem*, s. 150.

⁵³⁸ Cranor: *Are Genes Us?*, s. 170.

⁵³⁹ Jak na ironię, Morlokowie mścili się za swoją sytuację. Oni zjadali Eloj.

Broń biologiczna

Jednak najgłębsze chyba obawy związane z biotechnologią budzi umyślne jej nadużycie, zwłaszcza w celach wojskowych.

Broń biologiczna ma długą i straszliwą historię. Kiedy w grę wchodzi kwestia przetrwania narodu albo podbój, państwa zwracają się w stronę nawet najbardziej destrukcyjnych rodzajów broni, także biologicznej.

Jeden z najwcześniejszych opisów zastosowania broni biologicznej dotyczy zatrucia wody w mieście Kirrah ciemiernikiem czarnym, na rozkaz Solona z Aten w 600 roku p.n.e. W XIV wieku Tatarzy za pomocą katapult przerculali ciała zmarłych na dzumę nad murami krymskiej twierdzy Kaffa, aby wywołać epidemię wśród obrońców. A w wieku XVIII żołnierze brytyjscy i urzędnicy rządu Stanów Zjednoczonych przekazywali Indianom, w ramach wymiany handlowej, zarażone wirusem ospy koce, co przyspieszyło ich eksterminację.⁵⁴⁰

Podczas pierwszej wojny światowej, przy użyciu 100 tysięcy ton gazów trujących (chlor, fosgen, iperyt) zabito sto tysięcy żołnierzy i okaleczono dalsze 1,3 miliona.⁵⁴¹

Podczas drugiej wojny światowej naziści zagazowali miliony Żydów, Rosjan, Cyganów i innych ludzi "niepożądanych", a Japończycy prowadzili na jeńcach wojennych odrażające doświadczenia z użyciem śmiertelnych zarazków (nawet Anglia i Stany Zjednoczone miały plany, nigdy nie zrealizowane, aby wykorzystać laseczki wąglika jako broń, albo w postaci dwustu-kilogramowych bomb zawierających zarazki, albo jako trucizny służącej do infekowania bydła i trzody nieprzyjaciela).⁵⁴²

W Japonii, w marcu 1995 roku fanatyczna sekta buddyjska uwolniła w tokijskim metrze gaz paraliżujący, sarin, w wyniku czego zmarło dwanaście osób, a rannych zostało 5,5 tysiąca. Dziesiątki tysięcy ludzi przed śmiercią uratowało jedynie to, że mieszanina trująca była zanieczyszczona. (Podobnie jak inne trucizny działające na układ nerwowy, sarin, związek chemiczny wynaleziony przez Niemców w latach trzydziestych, blokuje działanie acetylocholinesterazy, białka odgrywającego ważną rolę w przewodzeniu impulsów nerwowych). Istnieją dowody na to, że ta sama sekta starała się również zdobyć próbki wirusa Ebola.

Ale największe obawy związane są z możliwością przypadkowego uwolnienia nieuleczalnej choroby wirusowej z jednego z ośrodków prowadzących badania nad bronią biologiczną (jak ośrodek w Fort Detrick koło Waszyngtonu). Wirus taki zagroziłby istnieniu całej ludzkości. Zmutowany, przenoszony drogą powietrzną wirus w rodzaju HIV lub Ebola mógłby objąć infekcją całą Ziemię w ciągu tygodni lub miesięcy.

Najsilniejsze obawy niektórych uczonych oddaje wypowiedź Karla Johnsona z Centrum *Zwalczania*. Chorób: "Nie dają mi spokoju całe te badania nad wirulencją. To tylko kwestia miesięcy, a najwyżej lat, kiedy ludzie rozpracują geny odpowiedzialne za zjadliwość i przenoszenie drogą powietrzną wirusów grypy, Ebola, Lassa czy czego tam jeszcze. A wtedy każdy maniak z

⁵⁴⁰ Suzuki: *Genetics*, s. 197.

⁵⁴¹ *Ibidem*.

kilkunastoma tysiącami dolarów na sprzęt i wykształceniem biologicznym na poziomie liceum może wyprodukować zarazki, wobec których Ebola to będzie małe piwo".⁵⁴³

Nie można ignorować tego scenariusza dnia sądnego. D. A. Henderson, który brał udział w kampanii przeciwko wirusowi ospy, zauważa: "Co by się z nami stało, gdyby wirus HIV okazał się patogenem roznoszącym się w powietrzu? I na jakiej podstawie twierdzimy, że infekcja tego typu nie pojawi się w przyszłości?".⁵⁴⁴

Wojowniczo nastawione państwo mogłoby także użyć technik biotechnologii do wyprodukowania zarazków chorób niszczących uprawy nieprzyjaciela, wywołując klęskę głodu. "Z łatwością można to zrobić. To nie jest fantazja naukowa" - mówi A. N. Mukhopadyay, dziekan Wydziału Rolnictwa Uniwersytetu G. S. Panta w Indiach.⁵⁴⁵

Barbara Rosenberg, przedstawicielka Stowarzyszenia Uczonych Amerykańskich, komentuje: "Nie są potrzebne urządzenia tak zaawansowane technicznie, że nie dałoby się ich wykonać domowymi sposobami w jakimkolwiek kraju, któremu zależy na produkcji broni biologicznej. I żadne państwo nie jest przed tym zabezpieczone".⁵⁴⁶

W 1989 roku na dorocznym spotkaniu członków Amerykańskiego Towarzystwa Medycyny i Higieny Tropikalnej w Honolulu naukowcy przeprowadzili symulację niezwyklej, czysto hipotetycznej gry wojennej z udziałem broni biologicznej. Symulacja zaczyna się od wojny domowej i całkowitego chaosu w środkowej Afryce. W brudzie i nędzy obozu uchodźców pojawia się przenoszony drogą powietrzną wirus Ebola. W ciągu paru dni zaczyna rozprzestrzeniać się coraz dalej od obozu, dociera do portów lotniczych i przenosi się do Europy i Ameryki. W ciągu 10 dni pojawia się w Waszyngtonie, Nowym Jorku, Honolulu, Genewie, Frankfurtcie, Manili, Bangkoku.⁵⁴⁷ Po miesiącu świat obejmuje wywołująca powszechną panikę pandemia.

Przypominając tę mrozącą krew w żyłach grę, Karl Johnson mówi: "Można powiedzieć, że to idiotyzm, ale sądzę, że nie powinniśmy całkowicie odrzucać takiego scenariusza. Podobna ewentualność istniała i nadal istnieje".⁵⁴⁸

Do najbardziej przerażających form broni korzystającej z drobnoustrojów należy tzw. broń etniczna, wykorzystująca genetycznie zmodyfikowane zarazki, atakujące selektywnie pewne grupy etniczne lub rasowe. Pomysł takiego rodzaju broni narodził się w 1970 roku i przedstawiony został w amerykańskim magazynie "Military Review".⁵⁴⁹ W artykule tym odnotowano, że pewne grupy ludności azjatyckiej nie trawią mleka. W publikacji użyto tego przykładu do pokazania, że niektóre rasy są podatne na specyficzne substancje chemiczne.

Z ujawnionych niedawno dokumentów archiwalnych wynika, że w 1951 roku marynarka amerykańska prowadziła okryte najściślejszą tajemnicą testy mające ustalić, jak niebezpieczny

⁵⁴² *Ibidem.*

⁵⁴³ *Ibidem.*

⁵⁴⁴ *Ibidem.*

⁵⁴⁵ *Ibidem.*

⁵⁴⁶ *Ibidem.*

⁵⁴⁷ *Ibidem*, s. 93-94.

⁵⁴⁸ *Ibidem.*

⁵⁴⁹ Charles Piller, Keith R. Yamamoto: *Gene Wdrs. William Morrow*, Nowy Jork 1988, s. 99.

byłby atak nieprzyjaciela stosującego *Coccidioides immitis*, grzyb zagrażający głównie czarnoskórym członkom obrony.⁵⁵⁰ Drobnoustrój ten wywołuje gorączkę Doliny św. Joachima⁵⁵¹, która zabija dziesięciokrotnie więcej Murzynów niż białych.

Charles Piller, autor *Gene wars [Wojny genów]*, pisze, że w latach czterdziestych prowadzono w Stanach Zjednoczonych badania nad gorączką Doliny św. Joachima, układowym schorzeniem grzybiczym, jako potencjalną bronią biologiczną. Planiści wojskowi rozważali zmutowanie grzyba tak, by atakował on jedną, określoną grupę etniczną.⁵⁵²

Procedura legislacyjna genomu

“Nie jestem Pollyanną, żeby wyobrażać sobie, iż nikt nigdy nie wykorzysta tak potężnej informacji w niegodziwy sposób [...].

Jeśli uważa się, że jednym z największych zadań powierzonych ludzkości jest dążenie do ulżenia ludzkiemu cierpieniu na wszelkie możliwe sposoby, to nie można być przeciwko tego typu badaniom. Ale to jest wiedza. Nie jest ani dobra, ani zła. Jest po prostu wiedzą” - mówi Francis Collins.⁵⁵³

W wiedzy tkwi jednak siła, a każda siła nieuchronnie staje się kwestią polityczną i społeczną. Dla lepszego rozeznania w istotnych problemach, jakie wiążą się z przyszłymi zastosowaniami genetyki, naukowcy z ELSI zaproponowali pewne proste wskazówki, których należy się trzymać, mając do czynienia z tymi drażliwymi sprawami. Ich rady są następujące:

- Sprawiedliwość dla wszystkich - żadnej dyskryminacji genetycznej.
- Prawo do prywatności - ochrona dóbr osobistych.
- Rozwój służby zdrowia - dostępność opieki zdrowotnej dla wszystkich.
- Potrzeba edukacji - podnoszenie świadomości społeczeństwa.

Wskazano zatem ważne problemy i udzielono rozsądnych odpowiedzi na pytanie, jak sobie z nimi radzić. Pozostaje jednak sprawą otwartą, jak rady te wprowadzać w życie. Być może wiele kwestii etycznych uda się ostatecznie rozwiązać dzięki połączeniu nacisków społecznych, regulacji prawnych i porozumień międzypaństwowych.

Nie ma sposobu na powstrzymanie postępu naukowego, ale powinniśmy znaleźć sposoby na uważne kontrolowanie rozwoju technologii. Niewykluczone, że trzeba będzie całkowicie zakazać pewnych rodzajów badań genetycznych. Jednak najlepszym rozwiązaniem jest publiczne nagłaśnianie ewentualnych korzyści i zagrożeń, które mogą się pojawić w związku z badaniami genetycznymi, oraz demokratyczne wprowadzanie praw, które tak kształtowałyby rozwój techniczny, by jego celem było ulżenie ludziom w cierpieniu i chorobie.

⁵⁵⁰ Te utajnione testy przeprowadzono w zaopatrzeniowej bazie wojskowej Mechanlcsburg w Pensylwanii. Odpowiedni dokument stwierdza: “Schemat dotyczył dużej liczby pracowników fizycznych, w tym wielu Murzynów, których ewentualna niezdolność do pracy mogłaby zagrozić systemowi dostaw. Ponieważ Murzyni są bardziej podatni na *Coccidioides* niż biali, działanie grzyba tej grupy symulowane było podawaniem *Aspergillus fumigatus*” (*ibidem*).

⁵⁵¹ Chodzi tu o kokcydioidomikozę, inaczej chorobę Posady i Wernickego, przewlekły stan zapalny przypominający gruźlicę płuc (przyp. tłum.).

⁵⁵² Wywiad z Charlesem Pillerem; Piller, Yamamoto: *Gene Wars*, s. 100.

⁵⁵³ Wywiad z Francisem Collinsem.

Caplan sądzi, że niektóre problemy można rozwiązać dzięki wzmożonym naciskom społecznym. Na przykład, już dzisiaj wiele kobiet, które zaszły w ciążę po 35 roku życia, prosi o przeprowadzenie amniocentezy, badania płynu owodniowego, aby można było stwierdzić, czy płód jest dotknięty zespołem Downa. W przyszłości, kiedy techniki testowania wielu chorób genetycznych zostaną udoskonalone, kobiety będą się z pewnością same zgłaszać na badania podczas ciąży.

Inne sprawy mogą jednak wymagać zdecydowanych posunięć legislacyjnych. Już obecnie, na przykład, Kongres USA rozważa kilka ustaw zabraniających towarzystwom ubezpieczeniowym dyskryminacji na podstawie danych zapisanych w materiale genetycznym.

Spółeczeństwo może też uznać za konieczne wprowadzenie ustawowego zakazu pewnych rodzajów terapii genowych komórek linii płciowej. Czy na przykład niski wzrost jest chorobą? Wielu uczonych pracujących nad terapią genową jest przerażonych myślą, że owoce ich pracy mogą być wykorzystywane dla celów czysto kosmetycznych. Z najgłębszym przekonaniem argumentują, że stosowanie terapii genetycznej zarodków w celach kosmetycznych powinno zostać zakazane. Terapia taka mogłaby jednak zostać zaaprobowana w przypadku pewnych wyniszczających chorób genetycznych.

Wreszcie, kwestię wojny biologicznej powinien rozstrzygnąć traktat międzynarodowy. Kamieniem milowym na drodze do zakazu lub ograniczenia wojny biologicznej była podpisana w 1972 roku przez USA, ZSRR i wiele innych krajów konwencja o nierozprzestrzenianiu broni biologicznej. Niestety, została ona uchwalona przed pojawieniem się technik rekombinacji DNA, w związku z czym zawiera wiele usterek i niedoskonałości. Po pierwsze, konwencja zabrania użycia broni biologicznej we "wrogich zamiarach lub konflikcie zbrojnym". Jednakże w epoce stosowania technik rekombinacji DNA rozróżnienie między ofensywnym a obronnym użyciem zarazków jest nader subtelne. Po drugie, za bezprawne uznano "rozwijanie" broni wykorzystującej zarazki, ale pozwolono na "prowadzenie badań" nad nią. Oznacza to, że zgodnie z prawem można prowadzić badania nad dużymi ilościami śmiertelnych drobnoustrojów z oczywistą intencją użycia ich w przyszłej wojnie. W dziedzinie biotechnologii naprawdę nie ma wielkiej różnicy między badaniami nad bronią biologiczną a przygotowaniem do jej użycia.

Ponieważ brakuje wyraźnego rozdziału między obronnymi a ofensywnymi zastosowaniami groźnych zarazków, zakaz powinien zostać ostatecznie rozszerzony na całą dziedzinę broni biologicznej. Raport Urzędu ds. Oceny Technologii z 1995 roku stwierdza, że w 17 krajach trwają prace nad bronią biologiczną.⁵⁵⁴

Wreszcie będzie musiał zostać wprowadzony silny międzynarodowy nadzór nad technikami wojennymi tego typu, włącznie z prawem do dokonywania lokalnych inspekcji, rozmontowywania istniejących urządzeń służących do produkcji broni biologicznej, kontrolą przepływu pewnych związków chemicznych oraz form żywych itd. Nie będzie to łatwe zadanie, ale regulacje takie są niezbędne, aby zapobiec pojawieniu się w tajnych laboratoriach żywych form, które zagrażałyby

⁵⁵⁴ Leonard A. Cole: Widmo zagrożenia bronią biologiczną, "Świat Nauki", luty 1997, s. 48.

życiu na Ziemi.

Całkowity zakaz broni biologicznej powinien zostać ogólnie zaakceptowany w momencie, kiedy państwa zdadzą sobie sprawę z faktu, że jest ona nietrwała, nieprzewidywalna w skutkach i podczas rzeczywistych działań wojennych nie można na niej polegać.

W końcu społeczeństwo będzie musiało demokratycznie zdecydować, czy i jakie rodzaje technologii powinny podlegać ograniczeniom. W przeciwieństwie do sytuacji panującej w przemyśle jądrowym, dyskusja wokół ryzyka i korzyści związanych z biotechnologią dopiero się rozpoczyna. To daje społeczeństwu czas na podjęcie decyzji, jakie rodzaje tej technologii powinny rozkwitać, a jakie należy wziąć pod ścisłą kontrolę. W państwie demokratycznym czynnikiem rozstrzygającym powinna być rzeczowa dyskusja, prowadzona przez dobrze wykształconych wyborców.

CZĘŚĆ IV

REWOLUCJA KWANTOWA

ROZDZIAŁ 13

PRZYSZŁOŚĆ KWANTOWA

*Ten, kogo mechanika kwantowa nie wprawia w zdumienie,
po prostu jej nie rozumie.*

NIELS BOHR

W przyszłości nie ma dróg.

DOC BROWN, *Powrót do przyszłości*

W końcowej scenie filmu *Powrót do przyszłości* trzaski wyładowań elektrycznych i błyski piorunów są zapowiedzią pełnej napięcia sceny przybycia z przyszłości latającego samochodu. Wehikuł osiada miękko na trawniku posiadłości Michaela J. Foxa i z pojazdu wyskakuje zwariowany uczonec, Doc Brown. Zaczyna jak szalony szukać jakiegokolwiek paliwa, którym mógłby napełnić pusty bak. Podbiega do najbliższego pojemnika na śmieci i znajduje w nim nadpsute skórki od bananów, zgniecione skorupki jaj i inne interesujące odpadki.

A, tak, skórki od bananów! Wrzuca parę sztuk do baku swojego samochodu i znowu może startować.

Na baku pokazanym w zbliżeniu widnieje napis: Mr. Fusion. Odpadki ulegają niemal natychmiastowej jonizacji i dzięki komórce, w której zachodzi synteza termojądrowa, w mgnieniu oka pojawia się potrzebna pojazdowi moc. Doładowany energią zawartą w sporej dawce śmieci pojazd unosi się i jak strzała mknie ku niebu. Doc Brown, wchodząc w pętlę czasową prowadzącą do przyszłości, stwierdza dobitnie: "W przyszłości nie ma dróg".

Scena ta głęboko poruszyła wyobraźnię milionów Amerykanów. Wspomniał o niej nawet prezydent Ronald Reagan w dorocznym przemówieniu o stanie państwa, wygłoszonym w Kongresie Stanów Zjednoczonych.

Powrót do przyszłości jest, oczywiście, tylko wytworem wyobraźni twórców z Hollywood. Ale samochody unoszące się w powietrzu dzięki magnesom i syntezie termojądrowej, zachodzącej w zminiaturyzowanych elementach konstrukcyjnych -to wcale nie musi być fantazja. Ostatecznej odpowiedzi na pytanie, czy problemy tego typu dadzą się rozwiązać, udzieli mechanika kwantowa.

To właśnie fizyka kwantowa zainicjowała w latach pięćdziesiątych naszego wieku rewolucję w

biologii molekularnej. Siłą napędową tej rewolucji były zagadki związane ze strukturą DNA. W latach dziewięćdziesiątych również dzięki mechanice kwantowej powstały nowe metody badań medycznych. Mowa tu o technikach PET, MRI i CAT, których wprowadzenie zrewolucjonizowało diagnostykę. Ponadto mechanika kwantowa dała nam laser i tranzystor. Wynalezienie tych urządzeń spowodowało zmiany w wielu dziedzinach: w handlu, rozrywce i w samej nauce. Łagodne przejście od okresu, w którym moc obliczeniowa komputerów i zdolność sekwencjonowania DNA podwajają się mniej więcej co dwa lata, do rzeczywistości 2020 roku nastąpi dzięki technologii, u której podstaw leży właśnie teoria kwantowa. W ciągu ostatnich czterech dekad w fizyce kwantowej zmieniło się bardzo dużo. To właśnie gwałtowny postęp w wielu jej działach zadecyduje o kierunkach rozwoju w następnym wieku.

Nanotechnologia, czyli maszyny molekularne

W *Powrocie do przyszłości* pojazd Doca Browna wykorzystywał energię wyemitowaną w kosmos przez Słońce, przetworzoną przez urządzenie nie większe od czajniczka do herbaty. Nasuwa się zatem pytanie: jak małe rozmiary mogą osiągnąć urządzenia i narzędzia?

Nanotechnologia jest dziedziną, której rozwój umożliwi zapewne zbudowanie najmniejszych urządzeń, o jakich moglibyśmy marzyć: maszyn molekularnych. Aby produkty nanotechnologii mogły wejść na rynek, muszą zostać przełamane liczne bariery koncepcyjne i techniczne. Niemniej założenia, na których opiera się ta dziedzina, wydają się zgodne z prawami fizyki. Możliwości tkwiące w nanotechnologii są tak olbrzymie, że doprawdy trudno przejść obok nich obojętnie.

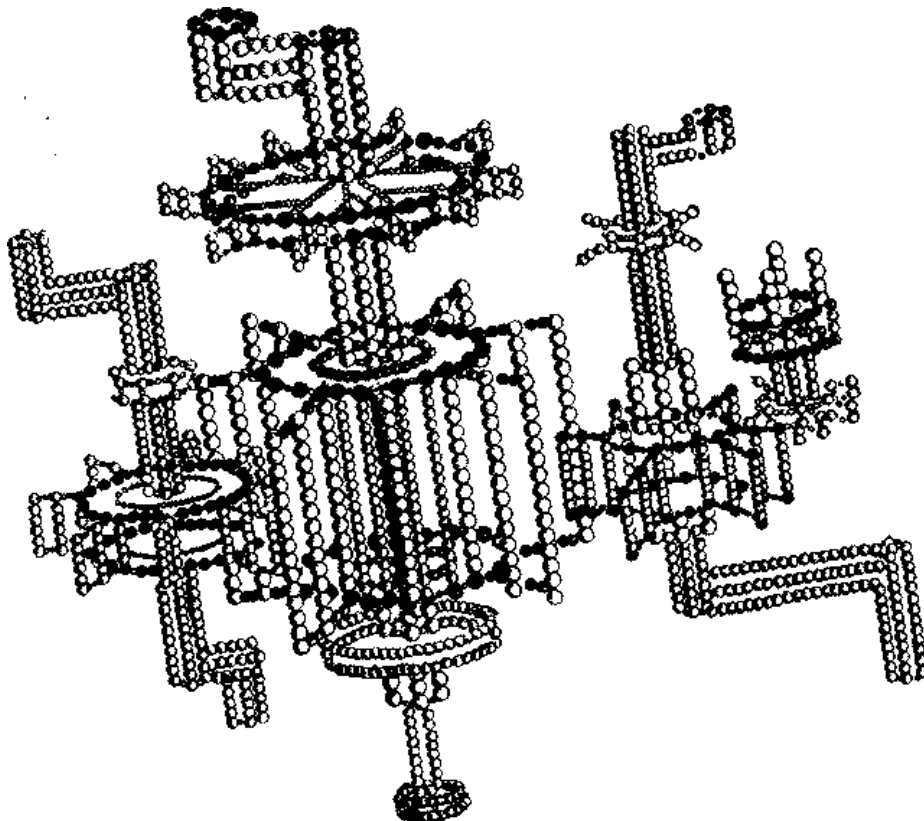
Postęp w nanotechnologii może całkowicie zmienić nasze podejście do biologii i techniki. Dopiero od niedawna uczeni potrafią manipulować pojedynczymi atomami. Toteż można przypuszczać, że pewnego dnia skonstruują oni mechanizmy z kółek, przekładni i zębatek nie większych niż parę średnic atomu. Wśród uczonych panuje raczej zgoda co do tego, że, wzięwszy pod uwagę ogromny postęp w technikach kontrolowania ruchu pojedynczych atomów, w niedalekiej przyszłości powstaną mikrouządzenia o wielkości porównywalnej z rozmiarami atomu.

Z nanotechnologią wiąże się szczególnie interesująca, lecz jednocześnie kontrowersyjna możliwość: tego rodzaju maszyny molekularne umiałyby same siebie powielać, wyszukując w swoim najbliższym otoczeniu potrzebne do budowy atomy i cząsteczki. W ten sposób mogłyby powstać nieograniczona liczba molekularnych robotów zdolnych dokonać wyczynów technicznych, które trudno sobie nawet wyobrazić. Mikrouządzenia tego typu - maszyny o rozmiarach rzędu dziesiątych części mikrometra - potrafiłyby operować pojedynczymi atomami i składać z nich, jak z klocków Lego, skomplikowane konstrukcje w skali mikroświata. Zaprężnawszy do pracy biliony bilionów takich robotów, moglibyśmy, przynajmniej częściowo, zmierzyć się z problemami natury biologicznej i inżynierskiej, z którymi obecnie nie możemy sobie poradzić.

Te urządzenia o wielkości atomów, podobnie jak wirusy i bakterie, będą umiały same siebie powielać. Będą więc rozmnażać się niemal jak istoty żywe. Zaczną też oddziaływać na otoczenie.

Na liście zadań postawionych robotom molekularnym znajdują się:⁵⁵⁵

- walka z bakteriami i wirusami;
- zabijanie komórek nowotworowych;



Maszyny molekularne, wyposażone w przekładnie i części ruchome, mogą osiągać rozmiary porównywalne ze średnicą atomów. Jeśli w przyszłości da się je zaprogramować tak, żeby same się reprodukowały, będzie można za ich pomocą rozwiązywać problemy biologiczne i techniczne, o których nam się dotąd nie śniło. (Dzięki uprzejmości Roberta O'Keefe'a).

- kontrola naczyń krwionośnych, zwłaszcza przeciwdziałanie zmniejszaniu się światła tętnic (osiadaniu cholesterolu);
- niszczenie groźnych odpadów, czyli oczyszczanie środowiska;
- dostarczanie dużych ilości taniego pożywienia, czyli eliminacja głodu w skali światowej;
- budowa różnego rodzaju urządzeń, od silników raketowych do mikroprocesorów;
- budowa superkomputerów wielkości atomów.

Jak utrzymują zwolennicy nanotechnologii, mogłaby nam ona zapewnić coś w rodzaju nieśmiertelności. Wierzą oni w skuteczność zamrażania ludzkiego ciała po śmierci. Jednak w procesie zamrażania wody powstają kryształki lodu, które nieuchronnie powodują uszkodzenia ścian komórkowych. Zastosowanie robotów molekularnych do naprawy tych uszkodzeń mogłoby przywrócić sprawność tkankom. (Wielu zwolenników tego poglądu zgodziło się już na zamrożenie swoich ciał po śmierci).

Koszty budowy robotów molekularnych byłyby niemal zerowe, ze względu na ich umiejętność samoreplikacji. Dysponując armią robotów zdolnych do reprodukcji i posługiwania się atomami w swoim otoczeniu, można sobie wyobrazić, lepiej lub gorzej, tysiące zastosowań.

⁵⁵⁵ Gary Stix: Czekać na przełom, "Świat Nauki", czerwiec 1996, s. 74.

Syreni śpiew nanotechnologii odbił się również echem w Dolinie Krzemowej. Wszak jest to miejsce, w którym wybiegające kilka dekad w przyszłość wyobrażenia związane z mikroelektroniką nie są niczym nadzwyczajnym. Także przedstawiciele Pentagonu zainteresowali się nanotechnologią, a właściwie możliwościami zastosowania jej do celów obronnych. Były wiceprzewodniczący Szefostwa Połączonych Sztabów, admirał David E. Jeremiah, stwierdził, że: "militarne zastosowanie technologii molekularnych w celu uzyskania miażdżącej przewagi kryje być może większe możliwości niż broń jądrowa". Siły przeciwnika mogłyby zostać dosłownie pożarte i strawione w ciągu paru godzin przez niemal niewidzialne hordy trylionów samopowielających się robotów.

Pomimo niezwykłych możliwości, jakie niesie ze sobą nanotechnologia, nadmiar entuzjazmu niektórych uczonych studzą ograniczenia techniczne i fizyczne. Powstaje pytanie: czy rozwój nanotechnologii jest rzeczywiście możliwy?

Ideę nanotechnologii zaproponował fizyk wciąż prowokujący do dyskusji kontrowersyjnymi pomysłami, Richard Feynman, laureat Nagrody Nobla. Swoje koncepcje przedstawił w niezwykle istotnym, a jednocześnie dowcipnym artykule zatytułowanym "Jest jeszcze wiele miejsca na dole". Feynman zaczął od postawienia pytania: czy w ramach znanych praw fizyki istnieje jakieś ograniczenie, które uniemożliwia konstruowanie jak najmniejszych urządzeń lub maszyn? Ku swojemu zdziwieniu doszedł do wniosku, że żadne z praw mechaniki kwantowej nie zabrania nam budować urządzeń wielkości atomów i cząsteczek.

"O ile rozumiem - pisał Feynman - prawa fizyki nie zabraniają nam posługiwania się pojedynczymi atomami. Takie postępowanie nie jest próbą naruszenia któregoś z tych praw. Jest czymś, co, w zasadzie, możemy robić. Jeśli nie uczyniliśmy tego jeszcze, to tylko dlatego, że jesteśmy po prostu zbyt duzi". A w innym miejscu zauważył: "Gdybyśmy potrafili postrzegać to, co robimy, oraz manipulować obiektami na poziomie atomowym, nasze możliwości rozwiązywania problemów chemii i biologii wzrosłyby niepomiaralnie. Sądzę, że tego kierunku rozwoju nie da się po prostu uniknąć". Feynman rzucił w ten sposób intelektualne wyzwanie fizykom, i jednocześnie ufundował nagrodę wysokości 1000 dolarów dla pierwszej osoby, która praktycznie zademonstruje możliwości nanotechnologii.⁵⁵⁶

Istnieją jednak również krytycy tej dziedziny. Wskazują oni, że perspektywy nanotechnologii są równie zapierające dech w piersiach, jak jej mizerne osiągnięcia. W przyrodzie znajduje się kilka urządzeń działających na poziomie molekularnym, ale żadna z molekularnych maszyn nie została skonstruowana w laboratorium i nic takiego nie nastąpi w ciągu najbliższych lat. Samopowielające roboty wydają się wciąż raczej wytworem wyobraźni niż rzeczywistością.

Jednym z najzagorzalszych przeciwników nanotechnologii jest David E. Jones, chemik oraz publicysta prestiżowego czasopisma "Nature". Stawia on niewygodne pytania: w jaki sposób

⁵⁵⁶ Richard Feynman: There's Plenty of Room at the Bottom, "Engineering and Science", luty 1960. Dokładniej - przedmiotem konkursu było pomniejszenie strony książki 25 tysięcy razy tak, by tekst mógł być odczytywany pod mikroskopem elektronowym. Druga tysiąc dolarowa nagroda przeznaczona była dla osoby, która skonstruuje normalnie pracujący silnik elektryczny o wymiarach rzędu pół milimetra sześciennego.

molekularne urządzenia produkcyjne miałyby rozpoznawać położenie każdego z atomów, czyli dowiadywać się, gdzie leżą materiały? Jak można zaprogramować te maszyny, by same dokonywały tych wszystkich cudownych sztuczek? Skąd miałyby one wiedzieć, jak się poruszać w różnych miejscach? Skąd czerpałyby energię potrzebną do wykonania pracy?

Zgranie wysiłków kilku biliardów mikrouządzeń, które z absolutną precyzją wykonywałyby swoje zadania w skali atomowej, może okazać się po prostu niemożliwe. "Dopóki powyższe problemy nie zostaną właściwie sformułowane i nie uzyskamy poprawnych odpowiedzi na postawione pytania, nanotechnologia pozostanie efekciarstwem propagowanym przez szkołę technicznych wróżbitów" - konkluduje cierpko Jones.

Kolejnym niedowiarkiem jest Philip W. Barth, inżynier w znanej firmie Hewlett-Packard. Twierdzi on, że „[w nanotechnologii] wszystko można uzasadnić pozornie słusznymi argumentami, ale nie ma żadnych odpowiedzi na konkretne pytania”. Na swojej stronie w Internecie Barth dowodzi, że nanotechnologia stała się pseudonaukową sektą społeczno--polityczno-religijną.

Istotnie, "orientacja nanotechnologiczna" to, w pewnym sensie, obowiązujący kierunek w powieści fantastycznonaukowej. Redaktor czasopisma "Science Fiction Studies", Istvan Csicsery-Ronay, Jr., stwierdza bez ogródek: "Wydaje się, że nanotechnologia jest magicznym zaklęciem, które czyni wszystko możliwym za sprawą pseudonaukowych argumentów".⁵⁵⁷

Przed 2020 rokiem: układy mikroelektromechaniczne

Chociaż nikt nie spodziewa się zbudowania w najbliższej przyszłości molekularnego, samopowielającego się robota, w wielu działach nanotechnologii widoczny jest powolny, lecz stały postęp. Przykuwa on uwagę zarówno sceptyków, jak i zwolenników tej dziedziny. Zamiast teoretycznie zajmować się podstawami i możliwościami nanotechnologii, fizycy i chemicy usiłują stworzyć w laboratoriach prototypy urządzeń.

Przypuszcza się, że około 2020 roku pierwsza generacja mikro-urządzeń, zwanych MEMS (od ang.: *microelectromechanical systems*, układy mikroelektromechaniczne), będzie stosowana w wielu dziedzinach. Pierwsze urządzenia typu MEMS - miniaturowe czujniki i silniki - powinny mieć rozmiary cząstki kurzu. Co prawda prototypom MEMS daleko jeszcze do prawdziwych maszyn molekularnych, lecz pierwsze z nich wchodzi już na rynek.⁵⁵⁸ Obroty tej gałęzi przemysłu ocenia się obecnie na 2,2 miliarda dolarów, a przypuszcza się, że na początku przyszłego wieku przekroczą one 15 miliardów dolarów.

Podstawową technologią MEMS jest trawienie, ten sam proces, który zapoczątkował wytwarzanie mikroprocesorów. Zamiast wytrawiania milionów tranzystorów, badacze "rzeźbią" obecnie na powierzchni płytek krzemowych czujniki i silniki. Podczas wytrawiania form stosuje się, na przykład, wypalanie warstw polimerowych wiązką promieni rentgenowskich o małym przekroju. Wytrawione w ten sposób płytki służą jako maleńkie formy odlewnicze.

Już obecnie w samochodowych poduszkach powietrznych stosuje się detektory ruchu cieńsze

⁵⁵⁷ Gary Stix: Czekając na przełom, "Świat Nauki", czerwiec 1996, s. 74.

od włosa. Te włoskowate kawałeczki krzemu potrafiące stwierdzić nagły spadek prędkości samochodu zastępują wcześniejsze, bardziej toporne czujniki. We współpracującej z Toyotą korporacji Denso skonstruowano jeden z najmniejszych na świecie silników, mikromotor wielkości 0,7 milimetra, który napędza mikrosamochód z prędkością około 5 centymetrów na sekundę.

Zastosowanie układów mikroelektromechanicznych może zrewolucjonizować kilka dziedzin. Na przykład w medycynie będzie można je wykorzystać do:

- znacznej redukcji (z 20 tysięcy dolarów obecnie do 10 dolarów) kosztów wytwarzania spektrometrów laboratoryjnych;
- stworzenia na powierzchni mikroprocesora całego laboratorium (*laboratory-on-a-chip*), które dokonywałoby pełnej diagnostyki i analiz chemicznych;
- skonstruowania napędzanych przez mikrociągnik mikro-urządzeń, służących do przetykania naczyń krwionośnych.

Urządzenia MEMS mogłyby również znaleźć zastosowanie w przemyśle jako elementy:

- konstrukcji budynku (nie tylko stalowych); umieszczenie w materiałach budowlanych milionów tanich, wrażliwych na najdrobniejsze zmiany ciśnienia elementów MEMS, ostrzegających przed rozpoczynającym się trzęsieniem ziemi, mogłoby przyczynić się do uratowania tysięcy istnień ludzkich;
- powierzchni skrzydeł samolotów w celu zmniejszenia oporów ruchu, likwidowania wirów zasysających i zwiększania siły nośnej. Urządzeniami tymi zainteresowana jest także armia. Bada się możliwości rozpylania nad pozycjami przeciwnika "wywiadu pyłowego". Taki kurz, którego cząstkami byłyby urządzenia MEMS, mógłby wisieć w powietrzu godzinami. W jego skład wchodziłyby detektory podczerwieni, stacje nadawcze, może nawet czujniki gazów trujących. Pozwalałoby to na dokładną lokalizację sił nieprzyjaciela.

Jednym z wielkich zwolenników techniki MEMS jest współzałożyciel Intelu, Gordon Moore, autor prawa Moore'a. "Upłynęło wiele czasu, zanim w pełni wykorzystaliśmy możliwości tranzystora. Urządzenia MEMS to naprawdę intrygująca technika i sądzę, że w XXI wieku jej wpływy będą znaczne" - mówi Moore.⁵⁵⁹

Lata 2020-2050: molekularne maszyny

Po 2020 roku MEMS mogą zostać zastąpione prawdziwymi maszynami molekularnymi. Już obecnie niektóre laboratoria mogą pochwalić się zadziwiającymi rezultatami eksperymentów, podczas których manipuluje się strukturami liczącymi nie więcej niż kilka atomów.

W 1989 roku dwaj naukowcy z IBM ułożyli napis "IBM" z 35 atomów ksenonu, które przesuwali po powierzchni niklu za pomocą skaningowego mikroskopu tunelowego. W elektronowym tunelowym mikroskopie skaningowym niezwykle cienka igła porusza się tuż nad powierzchnią badanego obiektu. Mierząc drobne zmiany potencjału elektrycznego towarzyszące atomom, które

⁵⁵⁸ "New York Times", 27 stycznia 1997; "High Technology Careers", luty-marzec 1997, s. 1.

⁵⁵⁹ "New York Times", 27 stycznia 1997, s. D12.

napotyka przesuwająca się igła, badaczom udało się określić obecność i położenie poszczególnych atomów. (Przypomina to sposób, w jaki niewidomi odczytują pismo Braille'a, przesuwając palcami po powierzchni stron drukowanych za pomocą specjalnej techniki wypukłego druku).

Elektrony "tunelują" przez barierę potencjału oddzielającą igłę od atomów, wytwarzając prąd elektryczny, dzięki czemu możliwe jest określenie pozycji atomów. Za pomocą mikroskopu skaningowego można również fizycznie przemieszczać atomy.

W 1996 roku dokonano innego przełomowego odkrycia. Naukowcy z laboratorium badawczego IBM w Zurychu wykazali, że używając igły mikroskopu skaningowego potrafią poruszać pojedynczymi cząsteczkami, a nawet stworzyć stabilne heksagonalne pierścienie z cząsteczek, i to w temperaturze pokojowej. (W poprzednich doświadczeniach manipulowano cząsteczkami w bardzo niskich temperaturach).

Pod koniec 1996 roku fizycy z tego samego laboratorium skonstruowali liczydło, w którym gałki zastąpiono atomami. Choć urządzenie to jest absolutnie niepraktyczne, pokazuje jak wielki osiągnięto postęp. Gałkami liczydła były fulereny, wyglądające jak piłki cząsteczki C_{60} (sześćdziesiąt atomów węgla uporządkowanych tak, że tworzą wielokąty podobne do tych, które widać na powierzchni piłki futbolowej; cząsteczkom nadano nazwę "fulereny" na cześć architekta Richarda Buckminstera Fullera). "Piłki" umieszczone są w rowkach o szerokości jednego atomu miedzi. Igła mikroskopu skaningowego przesuwana każdą z nich wzdłuż rowka, co wygląda identycznie jak ruchy gałek liczydła.⁵⁶⁰ (Pewien fizyk przyrównał to osiągnięcie do użycia wieży Eiffla w celu przesuwania gałek prawdziwego liczydła).

Przeszkodę w postępie nanotechnologii stanowił brak odpowiednika przewodu, którym można by przesyłać sygnały elektryczne i łączyć różne części maszyny molekularnej. Problem ten jednakże rozwiązano wraz z wynalezieniem nadzwyczajnego stanu materii, nazywanego nanorurkami grafitowymi. Są to puste w środku cylinderki zbudowane z atomów węgla, 100 razy twardsze od stali i 60 razy od niej lżejsze. Nanometrowe rurki są tak cienkie, że trzeba by ułożyć ich 50 tysięcy, jedna obok drugiej, żeby pokryć odległość równą średnicy ludzkiego włosa.

Te fantastyczne włókna powstają w taki sam sposób jak wspomniane już fulereny, czyli poprzez odparowywanie zwykłego węgla do postaci gazowej, a następnie umożliwienie kondensacji par węglowych w próżni lub w atmosferze gazu szlachetnego. Atomy węgla łączą się razem do postaci piłek lub rurek bez żadnej ingerencji z zewnątrz. Kondensacja fulerenów zachodzi w taki sposób, że pięciokąty i sześciokąty układają się w dokładnie taki sam wzór, jaki ma piłka futbolowa, natomiast nanorurki powstają z sześciokątów układających się w kształt powierzchni bocznej cylindra.

Atomy węgla są tak mocno upakowane w nanorurkach, że twory te nazwano najdoskonalszymi włóknami. Przewodzą one również prąd, dzięki czemu być może znajdą zastosowanie w budowie komputerów. Choć jednorazowo badacze potrafią na razie wytworzyć jedynie pojedyncze gramy

⁵⁶⁰ "New York Times", 19 listopada 1996, s. C1.

rurek grafitowych, chemicy przewidują, że nanorurki będzie można wkrótce kupować na tony. Możliwości zastosowania tych wspaniałych włókien jest wiele. Z rurek można będzie prawdopodobnie zbudować molekularny tranzystor. Wstawiając zwykłą cząsteczkę C_{60} do wnętrza i przesuając ją wzdłuż nanorurki (taka cząsteczka pasuje do jednego typu rurek grafitowych), można modyfikować własności elektryczne cylinderka. Otrzymamy w ten sposób molekularny przełącznik do włączania i wyłączania prądu. Można będzie również skonstruować urządzenia, które nie mają odpowiedników w zwykłej elektronice, na przykład umieścić atom metalu wewnątrz "piłki", którą z kolei wstawi się do nanorurki i w ten sposób powstanie metaliczny przewód szerokości jednego atomu. Własności elektryczne takiego przewodu nie są jeszcze znane.

Prawdopodobne jest także wytwarzanie molekularnych przewodów służących do łączenia cząsteczek lub sensorów, które "wyczuwałyby" molekularną strukturę powierzchni (mogłyby się to przydać do produkcji ultraczystych płytek krzemowych).

Być może najbardziej fantastycznym, a jednocześnie wciąż zgodnym z prawami fizyki, zastosowaniem rurek grafitowych jest skonstruowanie wręcz baśniowego haczyka, który dałoby się wbić w coś tak rzadkiego jak powietrze. Satelita orbitujący na wysokości około 36 tysięcy kilometrów nad powierzchnią naszej planety znajduje się na orbicie geostacjonarnej, tzn. jego okres obiegu dookoła Ziemi dokładnie zgadza się z czasem trwania jej obrotu. Ponieważ obserwatorom znajdującym się na powierzchni naszego globu satelita wydaje się nieruchomy, można by z niego spuścić linę, swobodnie zwieszającą się do samej Ziemi. Wyglądałoby to na pogwałcenie praw fizyki -wznosząca się w niebo lina przecinałaby chmury i znikła w przestworzach, jawnie przecząc prawu grawitacji. W zasadzie można by się wspiąć po takiej linie wiszącej na "haku wbitym w niebo" i zapuścić w przestrzeń kosmiczną bez użycia jakichkolwiek rakiet, co oznaczałoby rewolucję w turystyce kosmicznej.

Niestety, proste obliczenia pokazują, że naprężenia w linie opuszczonej z satelity byłyby tak wielkie, że urwałaby się ona pod swoim ciężarem, niwecząc cały plan. Jednakże Daniel T. Colbert z Uniwersytetu Rice'a w Houston przewiduje skonstruowanie niezwykle mocnych kabli z rurek grafitowych. Wyliczył, że nanorurki, jak żaden inny materiał na Ziemi, byłyby zdolne wytrzymać własny ciężar oraz związane z nim naprężenia i połączyć powierzchnię naszej planety z satelitą geostacjonarnym.

W latach 2020-2050 będą prawdopodobnie powstawać coraz bardziej wymyślne urządzenia oparte na zasadzie manipulowania pojedynczymi atomami. W okresie tym pojawią się przekładnie, zębatki, dźwignie i druty o rozmiarach cząsteczek chemicznych. Ale i tak te wszystkie mikrouządzenia to tylko wstęp do konstrukcji samopowielających się mikromaszyn, których istnienie przepowiadają różni guru nanotechnologii. Jeśli istotnie możliwa jest realizacja takich tworów, to pojawią się one dopiero w drugiej połowie XXI wieku.

Niewykluczone, że to prowokujący ciągle Feynman będzie śmiać się z nanotechnologii ostatni. Wszak nie przeczy ona żadnemu znanemu prawu fizyki. Niemniej wymaga zaprzęgnięcia nowej dziedziny nauki lub sztuki inżynierskiej. Większość fizyków oczekuje momentu, kiedy pojawi się

jakaś rzeczywista konstrukcja będąca przykładem tych samopowielających się urządzeń. Do tego czasu trudno o jakikolwiek osąd.

Być może pierwsza generacja takich prostych maszyn molekularnych powstanie w ciągu najbliższego dziesięciolecia. Ale nadzieje, które badacze wiążą z nanotechnologią (samoreplikujące się urządzenia, potrafiące dowolnie przemieszczać cząsteczki), pozostają wciąż czystą spekulacją.

Nadprzewodniki w temperaturach pokojowych: św. Graal nauki

W *Powrocie do przyszłości* latający samochód Doca Browna sam unosił się w powietrzu. W zasadzie pojazd tego rodzaju mógłby rzeczywiście lewitować nad powierzchnią Ziemi dzięki polu magnetycznemu - sile, której znaczenie doceni technika XXI wieku. W przyszłości pociągi typu Maglev (od ang. *magnetic levitation*, lewitacja magnetyczna), unoszące się dzięki potężnym magnesom kilka centymetrów nad szynami, będą mogły sunąć na poduszce z powietrza prawie bez tarcia i osiągać duże prędkości przy niewielkim zużyciu energii. Tarcie, które jest powodem niemal wszystkich strat energetycznych w układach mechanicznych, mogłoby zostać zredukowane nieomalże do zera.

Klucz do zbudowania takich unoszących się w powietrzu samochodów i pociągów tkwi w nadprzewodnictwie - szczególnej własności świata kwantów. Przy stosunkowo niewielkim zużyciu energii magnesy nadprzewodzące są w stanie wytwarzać niezwykle silne pola magnetyczne, dzięki którym można realizować wiele dziwnych pomysłów.

Duże magnesy są nieefektywne, ponieważ wszelkie akcesoria elektryczne potrzebne do ich pracy się grzeją. Nawet w dobrych przewodnikach elektryczności, takich jak srebro czy miedź, prąd elektryczny napotyka niewielki opór. Niepotrzebne grzanie jest głównym źródłem strat w obwodzie oraz przyczyną usterek i awarii, których powstanie powoduje szkody materialne, a naprawa jest kosztowna. Na przykład komputery osobiste - urządzenia, które poza napędem dysku nie zawierają żadnych ruchomych części - powinny być teoretycznie niezniszczalne. W rzeczywistości psują się, głównie z powodu przegrzania wywołwanego oporem elektrycznym.

Nadprzewodnictwo może to wszystko zmienić. Zjawisko to po raz pierwszy zaobserwował w 1911 roku Heike Kamerlingh Onnes, uczony pracujący w Lejdzie. Odkrył on, że rtęć oziębiona do około 4,2 stopnia powyżej zera absolutnego (czyli do temperatury 4,2 kelwina) zupełnie traci opór elektryczny. Za to odkrycie Heike Onnes otrzymał Nagrodę Nobla.

Obecnie wiadomo, że zadziwiająco wielka liczba substancji (liczy się je już w tysiącach) może przejść w stan nadprzewodnictwa. Wszystkie jednak wymagają kosztownego ciekłego helu, dzięki któremu można je schłodzić do temperatur o wartościach zbliżonych do zera absolutnego. Tak więc, mimo że dzięki materiałom nadprzewodzącym zanurzonym w ciekłym helu potrafimy wytwarzać olbrzymie pola magnetyczne, koszty takich operacji są często na tyle wysokie, iż nie ma mowy o ich upowszechnieniu.

Nic zatem dziwnego, że badania nad nadprzewodnikami wysokotemperaturowymi, które nie

wymagałyby w ogóle chłodzenia, są równie zaciekle jak poszukiwania św. Graala. Jeżeli taki nadprzewodnik zostanie kiedykolwiek odkryty, oblicze przemysłu odmieni się nie do poznania. Elektryczność jest źródłem energii napędzającej maszynę, oświetlającej miasta, pozwalającej robić grzanki, bawić się nocą, wykonywać obliczenia. A zatem zmiana sposobu przekazywania prądu elektrycznego spowodowałaby głębokie przeobrażenia w każdym aspekcie naszego życia. Są fizycy, którzy twierdzą, że wywołałoby to drugą rewolucję przemysłową. Poniżej przedstawiamy kilka z mnóstwa możliwych zmian:

- Jak wspominaliśmy w rozdziale piątym, w miarę jak tranzystory stają się coraz mniejsze, wytwarzając lokalnie olbrzymie ilości ciepła, superkomputery zbliżają się do bariery 0,1 mikrometra. Superkomputery oparte na wysokotemperaturowych nadprzewodnikach generowałyby mniej ciepła, dzięki czemu otworzyłyby się perspektywy zupełnie nowej ich konstrukcji.

- Pokażną część energii elektrycznej traci się podczas przesyłania jej na duże odległości. Zastosowanie wysokotemperaturowych nadprzewodników postawiłoby tamę tym stratom i jednocześnie pozwoliłoby zaoszczędzić miliardy dolarów.

- Dzięki redukcji strat w przewodach i urządzeniach elektrycznych nie trzeba by budować kolejnych elektrowni spalających paliwa kopalne, a to z kolei pomogłoby rozwiązać kryzys energetyczny oraz powstrzymać pogłębianie się efektu cieplarnianego. Gdyby wzrosła sprawność wszystkich urządzeń elektrycznych, zapotrzebowanie na energię elektryczną gwałtownie by zmalało.

- Zmniejszyłaby się liczba kosztownych awarii instalacji elektrycznych, zazwyczaj mających związek z oporem i wydzielanym podczas przepływu prądu nadmiarowym ciepłem. Wszystko to miałoby znaczący wpływ na sprawność funkcjonowania instalacji, a oszczędności byłyby zauważalne zarówno dla poszczególnych użytkowników, jak i całego przemysłu.

- Przy stosunkowo niewielkich nakładach finansowych nadprzewodniki wysokotemperaturowe umożliwiłyby również wytwarzanie silnych pól magnetycznych. Dzięki temu mogłyby się pojawić Maglevy, szybujące samochody, a nawet nowe typy tomografów i akceleratorów.

- Dzięki nadprzewodnikom możliwa jest też budowa niezwykle czułych przyrządów, nazywanych SQUIUD-ami (od ang. *superconducting quantum interferometer device*, nadprzewodzący interferometr kwantowy), służących do pomiarów niemal nieskończenie małych zmian natężenia pola magnetycznego. W niektórych szpitalach stosuje się już SQUID-y do wykrywania pola magnetycznego wytwarzanego przez ludzkie ciało.

Przez dziesięciolecia fizycy desperacko poszukiwali owianych legendą nadprzewodników wysokotemperaturowych. Pogoń za nimi przyrównano kiedyś do bezowocnych poszukiwań kamienia filozoficznego, za pomocą którego średniowieczni alchemicy chcieli zamieniać ołów w złoto.

Przełom nastąpił w 1986 roku, kiedy K. Alexander Muller oraz J. Georg Bednorz z laboratorium badawczego IBM w Zurychu niespodziewanie oświadczyli, że znaleźli nadprzewodnik ceramiczny o rekordowo wysokiej temperaturze przejścia w stan nadprzewodnictwa. Wynosiła ona 35

kelwinów. To pierwsze od 70 lat wielkie odkrycie w dziedzinie nadprzewodnictwa zaskoczyło całkowicie fizyków, a autorom zapewniło Nagrodę Nobla. Nikt nie podejrzewał, że ceramiczne izolatory z tlenku miedziowo-barowo-lantanowego mogą okazać się nadprzewodnikami. Wkrótce potem Maw-Kuen Wu i Paul Chu odkryli, że tlenek itrowo-barowo-miedziowy (YBCO) przechodzi w stan nadprzewodzący w nieprawdopodobnie wysokiej temperaturze 93 stopni powyżej zera absolutnego (około -180°C).

Do wyścigu, kto pierwszy odkryje nadprzewodnik wysokotemperaturowy, włączyły się kolejne ośrodki badawcze. W ciągu paru tygodni zaczęły padać nowe rekordy, podnoszące wartość krytycznej temperatury, w której związki oparte na tlenku miedzi stawały się nadprzewodnikami.

Obecnie światowy rekord (który zapewne wkrótce zostanie pobity) należy do Andreasa Schillinga i jego współpracowników ze Szwajcarskiego Federalnego Instytutu Technologicznego w Zurychu, którzy wykazali, że ceramika z tlenku miedziowo-barowo-wapniowo-rtęciowego staje się nadprzewodząca w 134 kelwinach (czyli około -139°C). Zdarzały się doniesienia pochodzące z różnych ośrodków badawczych o materiałach, dla których temperatury krytyczne osiągały nawet 250 kelwinów (czyli około -23°C), ale żadnego z tych wyników nie udało się powtórzyć. Udowodnienie ich prawdziwości oznaczałoby, że udało się osiągnąć niemal temperatury pokojowe (około 300 kelwinów). Dzięki nowej klasie nadprzewodników w nauce dokonał się już przewrót. Materiały ceramiczne można przeprowadzić w stan nadprzewodnictwa, chłodząc je ciekłym azotem, który kosztuje zaledwie około 10 centów za litr, podczas gdy konwencjonalne nadprzewodniki muszą być chłodzone ciekłym helem, za który trzeba płacić 4 dolary za litr. Możliwość użycia ciekłego azotu powoduje, że ceramiki nadprzewodzące znajdą zastosowanie w wielu produktach o znaczeniu handlowym.

Opadła już towarzysząca nadprzewodnictwu gorączka lat osiemdziesiątych, ustępując miejsca trzeźwemu osądowi, według którego na nadprzewodniki w temperaturach pokojowych trzeba będzie poczekać lata, jeśli nie dziesiątki lat. Przedtem jednak należy rozwiązać kilka problemów.

Pierwszym jest, oczywiście, znalezienie nadprzewodników, których temperatura krytyczna mieściłaby się w zakresie temperatur pokojowych, co wyeliminowałoby kosztowne chłodzenie ciekłym azotem.

Po drugie, ze związków opartych na tlenku miedzi, w odróżnieniu od tych zbudowanych z metali, trudno jest robić przewody i druty. Ceramiki są kruche, metale zaś odporne i kowalne; można je zginać i wykręcać na wszelkie sposoby. Miedziany (inna nazwa ceramików) są równie kruche jak kawałek kredy i składają się z nieregularnych ziarenek. Właściwość ta powoduje, że nie płynie w nich zwykły prąd elektryczny.

Po trzecie, nadprzewodniki tracą swoje nadprzewodzące własności w silnym polu magnetycznym, gdyż tworzą się w nich wiry magnetyczne, które są również przeszkodą w przepływie zwykłego prądu elektrycznego.

Uczeni wciąż nie wiedzą, z czym dokładnie wiążą się nadprzewodzące właściwości miedzianów. Wysokotemperaturowe nadprzewodniki są testem sprawdzającym, co naprawdę wiemy o

mechanice kwantowej ceramików.

Mechanizm nadprzewodnictwa w pierwszej generacji materiałów nadprzewodzących wyjaśnili John Bardeen, Leon Cooper, Robert J. Schrieffer, za co zostali uhonorowani Nagrodą Nobla. (Dla Bardeena był to już drugi Nobel; poprzednio uczony ten został nagrodzony za prace nad tranzystorem). Teoria BCS, jak przyjęło się ją nazywać, opiera się na spostrzeżeniu, że elektron poruszający się w sieci krystalicznej metalu powoduje jej niewielkie odkształcenia: zagłębienia i wypukłości. Inny elektron, który wpada do zagłębienia, tworzy z pierwszym parę. W ten sposób naturalne wzajemne odpychanie się elektronów przewyższone zostaje przyciągającym działaniem deformacji sieci. Takie pary elektronów nazywa się parami Coopera. Zgodnie z teorią kwantową, pary Coopera mogą przemieszczać się w sieci krystalicznej bez żadnego oporu.

Jednakże nadprzewodniki ceramiczne należące do drugiej generacji nadprzewodników nie podporządkowują się temu prostemu mechanizmowi. Nikomu nie udało się jeszcze wyjaśnić, dlaczego materiały te stają się nadprzewodzące. Philip Anderson, laureat Nagrody Nobla pracujący w Princeton, twierdzi, że poprzednie teorie okazały się "katalogiem niepowodzeń i nadszedł już czas, aby otworzyć się na nowe sposoby myślenia".⁵⁶¹

W zasadzie falowe równanie Schrodingera pozwala dobrze zrozumieć zarówno kwantowomechaniczne własności pojedynczych atomów, jak i własności prostych sieci krystalicznych. W przypadku bardziej złożonych materiałów, takich jak ceramiki oparte na tlenkach miedzi, równanie to staje się jednak na tyle skomplikowane, że nie można go rozwiązać nawet przy użyciu superkomputerów.

Jednym z kluczy do rozwiązania zagadki nadprzewodzących ceramików jest ich struktura atomowa oparta na wyraźnej regularności sieci. Wyobraźmy sobie płaszczyzny poukładane jedna na drugiej z elektronami swobodnie poruszającymi się wzdłuż i w poprzek każdej z nich. Nawet niewielkie zmiany w strukturze - poprzesuwanie płaszczyzn względem siebie - niszczą nadprzewodzące własności ceramików. Niestety, nikt jak dotąd nie odgadł, co decyduje o tym, że ceramiki, mając taką właśnie strukturę, mogą być nadprzewodnikami.

Pomimo wszystkich trudności związanych z zastosowaniem nadprzewodników wysokotemperaturowych powoli, ale uparcie wkraczają one na rynek.

Pociągi typu Maglev

Nie da się przewidzieć, kiedy i czy w ogóle zostaną odkryte nadprzewodniki wysokotemperaturowe. Prawo Moore'a, na podstawie którego można by czynić rozsądne przewidywania, w stosunku do nadprzewodników się nie sprawdza. Jednakże mając na uwadze stały postęp widoczny w ostatniej dekadzie, można spekulować na temat szans ich odkrycia w ciągu najbliższych 15-20 lat.

Ale budowa linii komunikacyjnych, w których zostaną wykorzystane pojazdy typu Maglev, rozpocznie się w kilku krajach w ciągu następnych 10 lat nawet mimo braku nadprzewodników

⁵⁶¹ "Science News", 9 marca 1996, s. 157.

wysokotemperaturowych. W tym celu zostaną wykorzystane konwencjonalne pojazdy Maglev, które również suną w powietrzu na poduszce magnetycznej zamiast kół, z tym tylko, że uzwojenia magnesów potrzebują dużych ilości energii.

W sytuacji gdy tłok na lotniskach i drogach zaczyna hamować rozwój handlu, idealnym rozwiązaniem w komunikacji pomiędzy miastami odległymi o na przykład 600 kilometrów stają się pociągi poruszające się na poduszce magnetycznej z prędkością 450-500 kilometrów na godzinę.

Chociaż technikę pojazdów typu Maglev jako pierwsi rozwinęli 30 lat temu fizycy z Laboratorium Narodowego Brookhaven w Nowym Jorku, prawdziwy rozwój tego środka komunikacji następuje w Japonii i Europie. Japoński pociąg Maglev, nazwany ML-500R, już w 1979 roku ustanowił rekord prędkości wynoszący 517 kilometrów na godzinę (na prawie siedmiokilometrowym odcinku próbnym). Planuje się, że do 2005 roku zostanie wprowadzone stałe połączenie pomiędzy Tokio a Osaka wykorzystujące pociągi, które poruszają się na poduszce magnetycznej.⁵⁶²

Również Niemcy zbudowali prototyp takiego pociągu, TR-07, osiągający prędkość 400-450 kilometrów na godzinę, którego dwa wagony poruszają się wzdłuż trzydziestokilometrowego toru próbnego. Rząd Niemiec planuje oddanie w 2005 roku do użytku stałej linii Berlin-Hamburg. To przedsięwzięcie komunikacyjne miałyby odegrać szczególną rolę w procesie łączenia wschodniej i zachodniej części Niemiec.

W latach osiemdziesiątych także rząd Stanów Zjednoczonych zainteresował się pojazdami typu Maglev, ale prace w ramach projektu o nazwie Narodowa Inicjatywa Maglev zarzucono w 1994 roku, głównie z powodu nikłego zainteresowania ze strony sektora prywatnego.

Gdybyśmy jednak odkryli nadprzewodniki wysokotemperaturowe, Maglevy stałyby się nadzwyczaj opłacalne. Koszty wytwarzania magnesów do pojazdów lewitujących na poduszce magnetycznej uległyby olbrzymiej redukcji. Dopóki tak się nie stanie, można spodziewać się, że postęp w rozwoju techniki Maglevów będzie następował powoli i niezbyt widowiskowo.

Fuzja termojądrowa: kawałek Słońca w zaprzęgu

Tanie, niewyczerpalne i nieograniczone - takie kryteria przyjęto w poszukiwaniach nowych źródeł energii na potrzeby XXI wieku. W ciągu najbliższych 30 lat paliwa kopalne staną się trudno dostępne i bardzo drogie. Możemy również być świadkami wyraźnych skutków globalnego ocieplenia.

Fizycy dostrzegają trzy niewyczerpalne źródła energii w przyszłości:

- fuzja termojądrowa
- reaktory powielające
- energia słoneczna.

Źródła te są bardzo ściśle związane z prawami mechaniki kwantowej.

Ta sama siła kosmiczna, która rozgrzewa Słońce i sprawia, że gwiazdy i galaktyki świecą, miałyby, dzięki fuzji termojądrowej, rozjaśniać nocą nasze miasta. Podstawowym paliwem sto-

⁵⁶² Tony R. Eastham: Szybka kolej: następny złoty wiek?, "Świat Nauki", listopad 1995, s. 70.

sowanym w urządzeniach wykorzystujących syntezę jąder atomowych jest zwykła woda morska (a nie skórki od bananów), a jej mamy pod dostatkiem.

Kiedy do miast popłynie prąd z elektrowni, w których będzie zachodziła fuzja termojądrowa? Harold P. Furth, dyrektor sławnego Laboratorium Fizyki Plazmy w Princeton w latach 1980-1990, przewiduje, że "prognozy te spełnią się za życia naszych wnuków, mniej więcej w połowie przyszłego wieku".⁵⁶³

Choć perspektywy rozwoju energii jądrowej budzą kontrowersje, na poparcie opinii Furtha można przytoczyć fakt, że rezerwy ropy naftowej (zaspokajającej około 40% światowego zapotrzebowania na energię) zaczną się prawdopodobnie wyczerpywać na początku przyszłego wieku. Obecnie zbadane i oszacowane złoża zawierają około biliona baryłek. Z tego 77% posiadają kraje OPEC (w tym 65% należy do krajów leżących nad Zatoką Perską). Na początku przyszłego wieku ceny ropy naftowej pójdą w górę, gdyż coraz trudniej będzie ją wydobyć i oczyścić. Pomijając możliwości pojawienia się jakichś nowych wynalazków, możemy się spodziewać, że koło 2020 roku ceny tego surowca będą niebotyczne.⁵⁶⁴ Mniej więcej w 2040 roku ropa naftowa stanie się tak droga, że jeśli wcześniej nie podejmiemy się jakichś działań, gospodarka światowa zacznie pogrążać się w kryzysie. Choć nie można przewidzieć dokładnej daty wystąpienia tych zjawisk, nie ulega wątpliwości, że paliwa kopalne już wkrótce staną się zbyt drogie, by opierać na nich funkcjonowanie przemysłu.

W tym samym czasie, kiedy ceny ropy naftowej będą rosnąć, zwiększy się popyt na energię. Wzrost zapotrzebowania będzie związany z uprzemysłowieniem wielkich obszarów Trzeciego Świata. Oczekuje się, że do 2040 roku światowy popyt na moc się potroi, wzrastając z 10 do 30 bilionów watów (nawet przy założeniu znacznego wzrostu sprawności urządzeń i efektywności wykorzystania energii).

Jakie źródło energii zastąpi paliwa kopalne? Rezerwy węgla kamiennego Stanów Zjednoczonych wystarczą prawdopodobnie na 500 lat, ale węgiel nie stanie się paliwem przyszłości, gdyż jego wykorzystywanie powoduje niszczenie środowiska kwaśnymi deszczami, efekt cieplarniany i zanieczyszczenie powietrza.

W tej właśnie sytuacji pojawia się perspektywa zastosowania fuzji termojądrowej. W wodzie morskiej istnieją praktycznie nieograniczone zapasy deuteru (izotopu wodoru). Fizycy z Princeton szacują, iż starczyłoby go nam na milion do 10 milionów lat.⁵⁶⁵

Niestety, to źródło energii z bardzo prostej przyczyny na razie nie jest dostępne. Jądra wodoru odpychają się z wielką siłą, gdyż są jednoimiennie, dodatnio naładowane. Aby pokonać odpychanie elektrostatyczne, trzeba podgrzać wodór do takiej temperatury, żeby zderzające się jądra atomowe mogły się ze sobą zetknąć. Już w latach trzydziestych fizycy zdali sobie sprawę, że

⁵⁶³ Harold P. Furth: Synteza termojądrowa, "Świat Nauki", listopad 1995, s. 140.

⁵⁶⁴ W oszacowaniu tym jest wiele niepewności. Nie możemy przewidzieć, ile jeszcze złóż zostanie odkrytych i jaka będzie szybkość zużywania ropy naftowej w przyszłości. Dla żadnego z tych czynników nie można podać dokładnych wartości.

⁵⁶⁵ Deuter jest izotopem wodoru. Jądro atomu zwykłego wodoru to pojedynczy proton, natomiast jądro deuteru zawiera proton i neutron. W najprostszej wersji fuzja termojądrowa przeprowadzana jest pomiędzy deuterem i trytem. Tryt jest

w takiej sytuacji siły pól kwantowych przeważałyby nad elektrostatyką i nastąpiłaby synteza wodoru w hel. Zjawisku temu towarzyszyłoby wydzielanie się olbrzymiej ilości energii. Aby jednak wystarczająco zbliżyć do siebie jądra wodoru, należy wytworzyć temperaturę 10-100 milionów stopni, o wiele wyższą niż temperatury spotykane gdziekolwiek w warunkach ziemskich. W przypadku bomby wodorowej problem ten rozwiązała wcześniejsza detonacja bomby atomowej, podgrzewająca jądra wodoru do niezmiernie wysokiej temperatury. Powstaje więc pytanie: jak można bezpiecznie przechować kawałek Słońca na Ziemi? Przecież w temperaturze 10-100 milionów stopni każdy pojemnik natychmiast zamienia się w parę.

Na szczęście istnieją dwa rozwiązania tego problemu: jeden z nich oparty jest na zasadzie działania Słońca, a drugi wiąże się z bombą wodorową.

Kiedy powstaje gwiazda, olbrzymie pole grawitacyjne ściska obłok wodoru aż do stanu, w którym temperatura w środku osiąga 10-100 milionów stopni. To wystarcza do zainicjowania reakcji łączenia się jąder wodoru w jądra helu. Proces fuzji "zapala" wodór i powstaje gwiazda. Nosi to nazwę pułapki grawitacyjnej.

Na Ziemi nie dysponujemy tak wielkimi polami grawitacyjnymi, żeby uwięzić plazmę, ale mamy tzw. butelkę magnetyczną. Odmianę tego urządzenia, zwaną pułapką magnetyczną, stosuje się w tokamaku. Konstrukcja ta opiera się na pochodzącym z lat pięćdziesiątych pomysłu fizyków rosyjskich, Andrieja Sacharowa i Igora Tamma. Obecnie jest ona bardzo rozpowszechniona. Na przykład w tokamaku w Princeton pole magnetyczne utrzymuje zjonizowany wodór w rurze o kształcie obwarzanka. Pole magnetyczne nie pozwala plazmie stykać się ze ściankami, gdyż pod wpływem takiego kontaktu mogłyby one wyparować.

Na obwarzanek tokamaka nawinięte są olbrzymie uzwojenia wytwarzające pole magnetyczne, które utrzymuje gaz pod ciągłą kontrolą. Gaz jest jonizowany i podgrzewany przepuszczanym przez niego prądem elektrycznym. W 1994 roku tokamak w Princeton ustanowił światowy rekord, generując 9 milionów watów mocy w krótkiej, trwającej ułamek sekundy, erupcji energii. (Dla porównania, typowa elektrownia atomowa wytwarza 1000 milionów watów mocy w niemal nieprzerwanym procesie).

Drugi pomysł utrzymania gorącej plazmy w ograniczonej przestrzeni nazywany jest pułapką bezwładnościową. Znalazł zastosowanie zarówno w konstrukcji bomby wodorowej, jak i laserowej instalacji do przeprowadzania fuzji termojądrowej, znajdującej się w Narodowym Laboratorium Livermore w Kalifornii. Do spowodowania wybuchu bomby wodorowej potrzebna jest bomba atomowa niewielkiej mocy, której eksplozja wytwarza potężny impuls promieniowania rentgenowskiego. Podczas tego wybuchu następuje kompresja pewnej ilości deuterku litu. Rozgrzewa się on do bardzo wysokiej temperatury, łącząc ze sobą jądra deuteru, i zachodzi reakcja jądrowa, w wyniku której powstaje hel oraz uwalnia się ciepło.

W celu zainicjowania fuzji w reaktorze w Livermore stosuje się kilka wiązek laserowych zogniskowanych na niewielkiej pigułce sprasowanego deuterku litu. Błysk silnego światła lase-

jeszcze innym izotopem wodoru, zawiera w jądrze jeden proton i dwa neutrony.

rowego powoduje odparowanie powierzchni pigułki i powstanie w jej objętości potężnej fali uderzeniowej. Pod wpływem tego impulsu pigułka ulega implozji, a w jej wnętrzu wytwarzają się ogromne ciśnienie i temperatura, w zasadzie wystarczające do zainicjowania reakcji termojądrowych.

W obu rozwiązaniach konstrukcyjnych energię uwalnianą w procesie fuzji termojądrowej wychytujemy za pośrednictwem wody. Synteza wodoru w hel wyzwala silny strumień neutronów, które zatrzymywane są w płaszczu wodnym otaczającym reaktor. Neutrony bombardujące płaszcz podgrzewają zawartą w nim wodę, doprowadzając ją do wrzenia. Gorąca para wodna kierowana jest następnie na łopatki turbin napędzających generatory prądu, takie same jak w elektrowniach wodnych lub opalanych węglem. (Obracający się magnes wirnika rozpędza elektrony w przewodnikach, z których zrobione są znajdujące się w pobliżu magnesu uzwojenia, dzięki czemu powstaje prąd przemienny. Właśnie w tej postaci dociera on ostatecznie do kontaktu w ścianie naszego mieszkania).

Obecnie Stany Zjednoczone wydają rocznie około 370 milionów dolarów na badania nad fuzją nuklearną. I Japonia, i Niemcy przeznaczają na ten cel o 40% więcej.

Pierwszym zadaniem, zarówno tokamaka, jak i fuzji sterowanej laserami jest osiągnięcie progu, tzn. punktu, w którym ilość uwolnionej energii zrównałaby się z ilością energii potrzebnej do zainicjowania tego procesu.

Jak dotąd w żadnej z konstrukcji nie udało się tego dokonać. W projekcie tokamaka gorąca plazma kręcąca się wewnątrz obwarunka generuje swoje własne pole magnetyczne, które dodaje się do pola zewnętrznego wytwarzanego przez elektromagnesy. Pola te, nałożone na siebie, wzmacniają niewielkie prądy wirowe oraz lokalne zaburzenia pola, powodując wycieki plazmy. Dotychczas w żadnym urządzeniu nie poradzono sobie z problemem utrzymania plazmy w dostatecznie stabilnym stanie przez wystarczająco długi czas.

Aby zaszła kontrolowana fuzja termojądrowa, musi być spełnione kryterium Lawsona: samopodtrzymująca się reakcja fuzji pojawia się wtedy, kiedy iloczyn gęstości cząstek i czasu ich uwięzienia przekracza 10^{14} sekund na centymetr sześcienny. Za każdym razem, kiedy patrzemy na Słońce, spoglądamy w gwiazdy lub oglądamy zdjęcia eksplozji termonuklearnej, widzimy którąś z wersji kryterium Lawsona spełnionego na skalę kosmiczną.

Realizacja amerykańskiego programu badań nad fuzją termojądrową stanęła pod znakiem zapytania, gdy z powodu cięć w budżecie w 1997 roku zamknięto tokamak znajdujący się w Princeton.

Nadzieje na postęp w badaniach nad fuzją termojądrową można wiązać z międzynarodowym eksperymentalnym reaktorem termojądrowym. Przedsięwzięcie to będzie wspólnym wysiłkiem Rosji, Japonii, krajów Unii Europejskiej i Stanów Zjednoczonych. Reakcja w tym reaktorze ma być podtrzymywana nie przez ułamki sekundy, ale w ciągu tysięcy sekund.

Widząc stały postęp zmierzający do spełnienia kryterium Lawsona i osiągnięcia progu, fizycy z Laboratorium Plazmy w Princeton przedstawili przybliżoną chronologię wydarzeń:

- do 2010 roku: zakończenie budowy tysiącmegawatowego międzynarodowego eksperymentalnego reaktora termojądrowego;
- do 2025 roku: skonstruowanie prototypowej elektrowni wykorzystującej fuzję;
- do 2035 roku: powstanie pierwszych zakładów energetycznych o znaczeniu gospodarczym wykorzystujących zjawisko fuzji;
- do 2050 roku: rozpowszechnienie elektrowni tego typu.

Fuzja a rozszczepienie

Badania opinii publicznej wykazały, że społeczeństwo żywi poważne obawy wobec energii jądrowej otrzymywanej dzięki rozszczepieniu jąder atomów uranu lub plutonu. Ludzie słyszeli o awariach w Three Mile Island i Czernobylu, nie rozwiązanych problemach składowania odpadów radioaktywnych, doświadczeniach z napromieniowaniem przypadkowych osób we wczesnym okresie badań nad energią jądrową oraz o rozpadających się silosach z głowicami nuklearnymi, na których naprawę trzeba będzie wydać 500 miliardów dolarów.

Reaktor wykorzystujący fuzję jąder pod wieloma względami góruje nad reaktorem, w którym zachodzi rozszczepienie jąder atomowych. Po pierwsze, w przeciwieństwie do tego ostatniego nie powstają w nim co roku tony wysoce szkodliwych dla otoczenia odpadów nuklearnych. Jedynymi odpadami reaktora fuzyjnego mogą być: stalowa czasza osłaniająca, która z czasem staje się radioaktywna, oraz drobne wycieki radioaktywnych izotopów wodoru. Elektrownie oparte na materiałach rozszczepialnych produkują zatrważające ilości radioaktywnych odpadów, które pozostaną zagrożeniem dla życia przez tysiące, a nawet miliony lat. Na przykład duża, tysiącmegawatowa elektrownia jądrowa corocznie wytwarza ich 30 ton, a w samych tylko Stanach Zjednoczonych jest ponad 100 takich elektrowni.

Po drugie, w elektrowniach wykorzystujących fuzję termojądrową nie mogą zdarzyć się awarie, podczas których topi się rdzeń. W zwykłych reaktorach rdzeń zawierający paliwo jądrowe pozostaje gorący nawet po wielu miesiącach od chwili wstrzymania reakcji rozszczepienia. Czasem prowadzi to do jego stopienia (stało się tak w elektrowni Three Mile Island). Jeśli rdzeń reaktora stopi obudowę, może spowodować katastrofalny w skutkach wyciek promieniowania. W przypadku elektrowni termojądrowych taki scenariusz wydarzeń jest nieprawdopodobny. Jeśli ktoś przypadkowo odetnie dopływ prądu i zaniknie pole magnetyczne, co z kolei spowoduje uwolnienie supergorącego gazu, plazma może nadtopić całą konstrukcję, ale fuzja natychmiast zostanie zatrzymana. Kryterium Lawsona przestaje być spełnione.

Po trzecie, reaktor termojądrowy nie przechodzi w stan nad-krytyczny (nie wymknie się spod kontroli), tak jak bomba atomowa. W reaktorach z materiałem rozszczepialnym narastanie niewielkich odchyłeń mocy może sprawić, iż przy zbyt szybko powielających się kolejnych generacjach neutronów stracimy nad nimi panowanie (nastąpiło to w Czernobylu).

Jednakże zarówno reaktory termojądrowe, jak i te oparte na materiałach rozszczepialnych mają jeden wspólny słaby punkt. Promieniowanie neutronów wytwarzane w każdym z nich jest

wystarczająco silne, aby nadwerężyć metalowe części osłon, wywołując tzw. przełom kruchy. Małe mikro-uszkodzenia, powodowane wybijaniem przez neutrony atomów metalu z sieci krystalicznej, mogą się nawarstwiać i w ten sposób powstają mikropęknięcia, które stwarzają zagrożenie zawalenia się całej konstrukcji metalowej. Jednoznaczne sformułowanie wszystkich wad i zalet reaktorów fuzyjnych wciąż wydaje się przedwczesne, gdyż żadna taka instalacja jeszcze nie istnieje i nie powstanie prawdopodobnie aż do 2025 roku.

Reaktory powielające i terroryzm

Pozostałe dwa potencjalnie niewyczerpalne źródła energii wiążą się z reaktorami powielającymi oraz energią słoneczną.

Reaktory powielające są niezwykle delikatną kwestią polityczną. W latach pięćdziesiątych analitycy z Komisji Energii Atomowej wstępnie szacowali, że w 2000 roku Stany Zjednoczone będą potrzebowały tysiąca reaktorów konwencjonalnych i tysiąca powielających. Dzisiaj w USA pracuje nieco ponad 100 reaktorów. A wśród nich nie ma żadnego reaktora powielającego.

Wielką zaletą reaktorów powielających jest to, że ulegający rozszczepieniu pluton wytwarzają one (powielają) z radioaktywnych odpadów uranu. Równocześnie stwarza to pewne niebezpieczeństwo: reaktory te działają dzięki wysoce wzbogaconemu paliwu, które może być przyczyną groźnych awarii. Pojawia się ponadto ryzyko sabotażu lub wykradzenia materiałów rozszczepialnych.

Reaktory powielające wzbudziły zainteresowanie ze względu na swoją ekonomiczność. Możliwa jest w nich transmutacja odpadowego uranu 238 w rozszczepialny pluton 239 . W reaktorze powielającym zużyty wcześniej uran 238 stopniowo absorbuje neutrony. Po takim, trwającym kilka miesięcy, "gotowaniu" spora część uranu zmienia się w neptun, który potem przechodzi w pluton 239 .

Reaktory powielające ostatecznie przyniosły jednak wielkie rozczarowanie. Pierwszy reaktor powielający w Stanach Zjednoczonych EBR-1 (od ang.: *Experimental Breeder Reactor*), będący jednocześnie pierwszym reaktorem, z którego otrzymano energię elektryczną, stopił się w 1955 roku podczas awarii jądrowej. Zniszczeniu uległo wówczas 40 do 50% rdzenia uranowego.⁵⁶⁶ Drugi reaktor powielający, Fermi-1, zbudowany tuż obok Detroit, przyniósł już zyski. Kiedy jednak w 1966 roku jego rdzeń uległ częściowemu (2%) nadtopieniu, elektrownia stała się zagrożeniem.⁵⁶⁷ Przyczyną awarii był kawałek cyrkonu, wielkości puszki od piwa, który zablokował obwód chłodzący rdzeń płynnym sodem. Zakłady nękane ciągłymi problemami, na przykład wybuchami sodu, zostały w końcu zamknięte. Do niedawna działał jeszcze reaktor powielający Clinch River,

⁵⁶⁶ T. J. Thorripson, J. G. Beckerley: *The Technology of Nuclear Reactor Safety*. MIT Press, Cambridge, Mass. 1964, tom 1, s. 631.

⁵⁶⁷ Ponieważ rdzeń zawierał uran wzbogacony do 25%, o wiele więcej niż obecne 3%, istniało niebezpieczeństwo, że płynny uran może zacząć się przemieszczać i w którymś miejscu osiągnie masę krytyczną. To mogłoby grozić gwałtownym wybuchem, skala wypadku byłaby znacznie większa. W związku z tym naukowcy bardzo ostrożnie sondowali rdzeń, aby nie doprowadzić do mieszania się stopionego uranu. Ostatecznie wykryto, że przyczyną całej awarii było przegrzanie spowodowane niedostatecznym przepływem ciekłego sodu w instalacji chłodzącej reaktora. W przewodach chłodzących oderwał się kawałek cyrkonu i zatkał drogę cieczy chłodzącej. Kierownictwu siłowni udało się

który jednak wyłączono w 1983 roku na mocy decyzji Kongresu USA.

Japończycy i Francuzi, którzy zaczęli rozwijać na dużą skalę technologię reaktorów powielających, również nie mieli szczęścia. Ponieważ paliwo do takich reaktorów, pluton, musi być chemicznie przetwarzane z użyciem lotnych rozpuszczalników, istnieje zawsze niebezpieczeństwo pożaru. Kilka pożarów zdarzyło się na przykład w fabryce we Francji, obsługującej reaktor Superphoenix. Awarię związaną z wyciekiem sodu przeżyli również Japończycy. Miała ona miejsce w reaktorze Monju w 1996 roku. Próby zatuszowania całej sprawy stanowiły dla rządu japońskiego istotny problem. (Jak na ironię *monju* w języku japońskim znaczy: mądrość). W 1997 roku zdarzyła się dość poważna eksplozja w zakładach Tokaimura.

Ponieważ w reaktorach powielających produkowany jest pluton, mogą się one stać głównym celem ataków terrorystów. Pluton to nie tylko jedna z najbardziej trujących substancji chemicznych: 3-5 kilogramów tego metalu wystarcza również do zbudowania małej bomby atomowej. W związku z tym programy budowy reaktorów powielających wzbudzają zawsze poważne obawy.

Nawet transport plutonu jest nadzwyczaj niebezpieczny. W 1995 roku powodem protestów w wielu krajach był płynący po wodach międzynarodowych, z Francji do Japonii, statek z 200 tonami plutonu. Wszak mógł on ulec awarii lub stać się obiektem ataku terrorystycznego.

Reaktorów jądrowych nie da się zastosować w samochodach i ciężarówkach, toteż źródło to może zaspokajać tylko część ogólnych potrzeb energetycznych. (Ponieważ z energii jądrowej otrzymuje się przede wszystkim energię elektryczną, elektrownie jądrowe wypierają zakłady opalane węglem. Ponadto ich budowa ma niewielki wpływ na zużycie produktów ropy naftowej stosowanych w transporcie i ogrzewaniu). Biorąc pod uwagę obecne nasycenie rynku uranem, przestrasz, jaki wzbudziły awarie Three Mile Island i Czernobyl, niebotyczne koszty budowy elektrowni atomowych oraz rosnącą niechęć do energii jądrowej, może lepiej pozostawić uran tam, skąd pochodzi, to znaczy w ziemi.

Do gry wchodzi Słońce

Najbardziej obiecującym rozwiązaniem problemów energetycznych przyszłości może się okazać energia słoneczna. W ogniwach słonecznych (często nazywanych ogniwami fotowoltaicznymi) ma zastosowanie kolejne prawo mechaniki kwantowej. Na początku tego wieku zauważono, że światło padające na powierzchnię pewnych metali generuje niewielki prąd elektryczny. Zjawisko to objaśnił Einstein. Polega ono na tym, że cząstka światła, zwana fotonem, padając na powierzchnię metalu, wybija elektron. Równania opisujące zjawisko fotoelektryczne przyniosły Einsteinowi Nagrodę Nobla. (Jego teoria względności okazała się dla konserwatywnego szwedzkiego komitetu przyznającego tę nagrodę zbyt dziwna).

Zjawisko fotoelektryczne wykorzystano do konstrukcji kamer telewizyjnych. Światło padające na "siatkówkę" kamery wybija elektrony i to właśnie umożliwia powstawanie prądu elektrycznego. W podobnym procesie ogniwa słoneczne zamieniają w prąd docierające do nich światło słoneczne.

również zablokować możliwość przecieku informacji o wypadku do wiadomości publicznej.

Zasoby energii słonecznej są nieograniczone. Co roku do powierzchni Ziemi dociera 15 tysięcy razy więcej energii niż ilość energii, którą zużywa cała populacja ludzka.⁵⁶⁸ I wszystko za darmo. William Hoagland z Narodowego Laboratorium Pozyskiwania Nowych Źródeł Energii w Golden (Kolorado), szacując, że do 2025 roku zapotrzebowanie na energię wzrośnie o 265%, optymistycznie przewiduje, iż do tego czasu 60% elektryczności będzie pochodziło z energii słonecznej. Produkcję baterii słonecznych dotychczas wstrzymywała ich wysoka cena i niska wydajność, wahająca się w granicach 15%. (Najnowszy rekord wydajności ogniwa słonecznego wynosi 30%). Tymczasem energia słoneczna zacznie być konkurencyjna wobec energii otrzymywanej z ropy i węgla dopiero wtedy, gdy osiągnie cenę około 10 centów za kilowatogodzinę.⁵⁶⁹

Sytuacja ulegnie zmianie w XXI wieku. Obecnie, w miarę pojawiania się coraz nowszych rozwiązań technicznych oraz wzrostu produkcji ogniw słonecznych, cena energii słonecznej gwałtownie się obniża. W latach osiemdziesiątych ceny ogniw fotowoltaicznych spadły czterdziestokrotnie. Zwolennicy wykorzystywania energii słonecznej wskazują, że pierwsze kalkulatory kosztowały 300 dolarów, a dziś ze względu na ich masową produkcję są sto razy tańsze.

Orędownicy energii słonecznej twierdzą, że do rozwoju tej dziedziny niezbędny jest potężny zastrzyk gotówki. Wskazują, że przełom w badaniach nad energią jądrową nastąpił wówczas, kiedy rząd Stanów Zjednoczonych przeznaczył 100 miliardów dolarów na badania podstawowe oraz subsydia dla firm związanych z cyklem produkcyjnym paliwa uranowego.

Obecna polityka rządu USA niemal wyklucza możliwość intensywnego rozwoju badań nad wykorzystaniem energii słonecznej. Jednakże w roku 1995 dwa zainteresowane przedsiębiorstwa, spółka Enron, największy dostawca gazu naturalnego, oraz korporacja Amoco, która jest właścicielem Solarexu i wytwarza ogniwa słoneczne, podjęły wspólne przedsięwzięcie polegające na zaopatrzeniu stutysięcznego miasta w elektryczność wytwarzaną z energii słonecznej. Przedstawiciele tych firm twierdzą, że budowana przez nie elektrownia słoneczna (koszt budowy szacuje się na 150 milionów dolarów) będzie dostarczać energię elektryczną po 5 centów za kilowatogodzinę, czyli około 3 centów taniej, niż liczą sobie dostawcy prądu z elektrowni opalanych węglem.⁵⁷⁰

“Jeśli uda im się zrealizować ten projekt, zrewolucjonizuje on dużą gałąź przemysłu. Ale jeśli operacja się nie powiedzie, spowoduje to zahamowanie rozwoju całej technologii co najmniej na dziesięć lat” - twierdzi Robert H. Williams z Uniwersytetu w Princeton.

Wydaje się, iż stopniowy wzrost kosztów funkcjonowania elektrowni atomowych oraz problemy związane z elektrowniami spalającymi paliwa sprzyjają energii słonecznej: źródło to staje się coraz bardziej ekonomiczne. W połączeniu z programami oszczędności energii oraz alternatywnymi jej źródłami (takimi jak energia wiatru, geotermiczna, techniki mieszane itd.) technologia

⁵⁶⁸ William Hoagland: Energia słoneczna, “Świat Nauki”, listopad 1995, s. 134.

⁵⁶⁹ *Ibidem*, s. 137.

⁵⁷⁰ *Ibidem*, s. 137.

przetwarzania energii słonecznej będzie się rozwijała w XXI wieku nawet mimo przeszkód stawianych przez polityków.

Samochód - hybryda elektryczna

Na początku XX wieku wcale nie było jasne, który typ samochodu ostatecznie weźmie górę: parowy, elektryczny czy benzynowy. W 1895 roku w stanie Michigan te trzy rodzaje automobili występowały w mniej więcej równych proporcjach. Thomas Edison i Henry Ford prowadzili rywalizację, co prawda przyjazną, która wersja pojazdu zwycięży: napędzany prądem elektrycznym czy benzyną.

Dwadzieścia lat później nie ulegało już wątpliwości, że samochód benzynowy pokonał przeciwnika. Prostym powodem uzyskania przewagi przez silnik benzynowy jest fakt, iż koncentracja energii na jednostkę masy jest w benzynie 100 razy większa niż w akumulatorze elektrycznym. (Na przykład zwykły akumulator kwasowo-ołowiowy ma pojemność 25-40 watogodzin na kilogram masy).

Różnice koncentracji energii uwidaczniają się w zróżnicowanym zasięgu. Zasięg większości samochodów elektrycznych wynosi około 150 km, czyli mniej więcej jedną trzecią zasięgu samochodów benzynowych. Ponadto, potrzeba 3-10 godzin, aby naładować zużyty akumulator. Istnieją co prawda akumulatory (na przykład niklowe), dzięki którym zasięg wzrasta do ponad 400 kilometrów (po jednokrotnym naładowaniu) - to więcej niż może przejechać wiele samochodów benzynowych po jednym tankowaniu - lecz nie pozwalają one na duże przyspieszenia. (Ustanowiony w 1996 roku rekord zasięgu samochodu elektrycznego wynosi niemal 600 kilometrów). Natomiast akumulatory, dzięki którym możliwe są rozsądne przyspieszenia, nie dają odpowiedniego zasięgu.⁵⁷¹

Wykorzystywanie w XXI wieku silników spalinowych mogłoby mieć katastrofalne skutki. Średniej wielkości samochód benzynowy zużywa przez cały okres swojej eksploatacji ponad 10 tysięcy litrów paliwa, wyrzucając do atmosfery 35 ton węgla, co przyczynia się do zatrucia środowiska, kwaśnych deszczów i globalnego ocieplenia.⁵⁷² Pojazdy napędzane silnikiem spalinowym emitują ponad połowę zanieczyszczeń na terenach miejskich oraz jedną czwartą ilości wszystkich gazów przyczyniających się do powstania efektu cieplarnianego.⁵⁷³ Aż połowę zużywanej w Stanach Zjednoczonych ropy naftowej spalają właśnie silniki samochodów.

Prawdopodobnie najbardziej atrakcyjną alternatywą dla samochodów z silnikiem spalinowym będzie na początku przyszłego wieku pojazd wyposażony w silnik hybrydowy oraz wymyślny komputer pokładowy. Idea ta zdobywa coraz większą popularność wśród projektantów samochodów. Opracowano już modele pozwalające na ekonomiczną jazdę po mieście, czyli głównie na krótkich dystansach. W nadchodzącej dekadzie silniki hybrydowe, zawierające jakąś kombinację napędu elektryczno-spalinowego, zaczną prawdopodobnie rywalizować z silnikiem

⁵⁷¹ "The Economist", 22 czerwca 1996, s. 8.

⁵⁷² World Watch Institute ocenia, że zanieczyszczenie powietrza w Stanach Zjednoczonych jest tak duże, że jedynie 1 na 5 mieszkańców miast oddycha czystym powietrzem. Wywiad z Lesterem Brownem.

spalinowym, co być może doprowadzi do tego, że pojazdy w nie wyposażone staną się stałym elementem krajobrazu miejskiego. Utorowałyby to drogę dla prawdziwego samochodu elektrycznego.

Przewaga silnika hybrydowego polega na tym, że istnieje wiele sposobów konfiguracji akumulatorów, silników spalinowych, kół zamachowych i małych silników gazowych. W jednym z modeli akumulatory zastosowano do jazdy w ruchu ulicznym, kiedy to samochód co chwila hamuje i rusza i silnik nie podlega stałemu obciążeniu. Podczas postoju pracujący ciągle silnik napędza obracające się z wielką prędkością koło zamachowe. W ten sposób w pojeździe, który utknął w korku lub zatrzymał się na czerwonych światłach, duża ilość energii kinetycznej akumuluje się w wirującym kole zamachowym. (Produkują się już rotory z nowych materiałów kompozytowych, zdolne do wykonywania 100 tysięcy obrotów na sekundę, dzięki czemu możliwe jest zmagazynowanie w nich dużej ilości energii kinetycznej). W momencie naciśnięcia pedału gazu koło zamachowe zostaje sprzężone z kołami samochodu i natychmiast przekazuje im swoją energię. W ten sposób osiąga się efekt dużych chwilowych przyspieszeń. Z problemem tym nie radzą sobie akumulatory. Przy podróżach na duże odległości można po prostu włączyć w samochodzie niewielki silnik benzynowy, zaprojektowany tak, by produkty spalania zawierały mniej węglowodorów i tlenku węgla niż spaliny obecnych silników. Innym rozwiązaniem jest niewielki silnik spalinowy, który ładowałby akumulator oraz silnik elektryczny używany do napędu samochodu.

W samochodzie o napędzie hybrydowym mogą znaleźć zastosowanie wymyślne kompozyty, które NASA stosuje do budowy najnowszego typu wahadłowców. Szwajcarski samochód o nazwie Esro, zbudowany z włókien kompozytowych, osiąga zadziwiająco wydajność 50-70 kilometrów przejechanych na jednym litrze benzyny. Ten dwuosobowy pojazd waży tylko 400 kilogramów i jest idealnym rozwiązaniem do jazdy po mieście. A można by jeszcze znacznie zwiększyć jego zasięg i sprawność dzięki zastosowaniu podstawowych rozwiązań konstrukcyjnych wymyślonych dla hybrydy elektrycznej.

Kiedy około 2010 roku pojawią się możliwości użycia kombinacji elementów, takich jak ultrakondensatory (kondensatory wielkiej pojemności) i ogniwa paliwowe, hybrydy elektryczne staną się jeszcze bardziej atrakcyjnym rozwiązaniem. Kondensatory o najprostszej budowie składają się z dwóch płaskich płyt przewodzących, na których można magazynować ładunek elektryczny. Jednym z najnowszych osiągnięć techniki są kondensatory zbudowane z węgla i ciekłych elektrolitów. Urządzenia te - pod względem ilości ładunku elektrycznego, który się z nich czerpie - mogą rywalizować z akumulatorami.

Innym zaawansowanym technicznie urządzeniem, dzięki któremu może znacznie wzrosnąć sprawność samochodu elektrycznego, jest ogniwo paliwowe. W przeciwieństwie do akumulatora kwasowo-ołowiowego, nie zanieczyszcza ono środowiska. Akumulatory muszą być ładowane prądem pochodzącym z elektrowni, których działanie jest dla środowiska szkodliwe. Natomiast

⁵⁷³ Daniel Sperling: Samochody elektryczne, "Świat Nauki", styczeń 1997, s. 34.

ogniwo paliwowe pracuje, zużywając jedynie wodór i tlen. W procesie tym uwalnia się tylko energia i woda. Sprawność ogniwo paliwowych sięga 40% (dwa razy więcej niż sprawność silnika spalinowego).⁵⁷⁴

Niestety, istnieją przeszkody do rozpoczęcia masowej produkcji ogniwo paliwowych i ich powszechnego zastosowania. Cena tych ogniwo jest ciągle wysoka, wodór zaś to gaz bardzo wybuchowy i trzeba się z nim obchodzić z najwyższą ostrożnością. Ale jeśli rozpocznie się masowa produkcja ogniwo i wzrośnie jej opłacalność, można się spodziewać, że około 2010 roku pewna kombinacja napędu słoneczno-wodorowo-elektrycznego stanie się obiektem zainteresowań przemysłu. Na potwierdzenie tej opinii można przytoczyć oświadczenie firmy Daimler-Benz, planującej sprzedaż pierwszych mercedesów z ogniwoami paliwowymi już na rok 2006.

Chociaż problemy natury technicznej stopniowo uda się rozwiązać, wprowadzenie tego typu pojazdów może zostać zahamowane przez przemysł rafineryjny i samochodowy. W 1996 roku, w wyniku kampanii prowadzonej przez przedstawicieli tych gałęzi przemysłu, wycofano zalecenie stanowe z 1990 roku dotyczące wprowadzenia pojazdów o zerowej emisji spalin (*zero emission vehid.es - ZEN*) w Kalifornii. Zniesiono tym samym limity, które miały obowiązywać w 1998 i 2001 roku, określające procent pojazdów o zerowej emisji spalin. Pozostawiono jedynie klauzulę dotyczącą roku 2003, zgodnie z którą 10% samochodów jeżdżących w Kalifornii powinno do tego czasu spełniać wymogi pojazdów typu ZEV.⁵⁷⁵ Nawet jeśli z powodu nacisków przemysłu samochodowego cezura roku 2003 znowu zostanie przesunięta lub zmienią się limity, to i tak pojawi się ogromna liczba samochodów typu hybryd elektrycznych.

Daniel Sperling, dyrektor Instytutu Studiów nad Transportem na Uniwersytecie Kalifornijskim w San Diego, szacuje, że do 2010 roku liczba samochodów elektrycznych sięgnie milionów, zwłaszcza jeśli pojawią się zagraniczni konkurenci z własnymi wersjami hybryd elektrycznych.⁵⁷⁶

Lasery nowego typu

Jednym z najważniejszych dla rewolucji informacyjnej wynalazków jest laser. Urządzenie to stworzyło możliwość przesyłania miliardów rozmów telefonicznych za pomocą wiązek światła i techniki światłowodowej. Wynalazek ów zrewolucjonizował nie tylko telekomunikację, ale i produkcję drukarek laserowych, dysków optycznych, obrabiarek przemysłowych, a także chirurgię.

Lasery nowego typu, od przypominających mikroskopijne grudki do olbrzymich instalacji laserowych, mogą przed nami odsłonić nieznane dotychczas obszary rzeczywistości. Dzięki tym urządzeniom w naszych mieszkaniach prawdopodobnie pojawi się telewizja trójwymiarowa.

Mikrolasery, o czym pisałem w rozdziale piątym, są kluczowym elementem komputerów optycznych, urządzeń, które mają kilka zdecydowanych zalet w porównaniu z komputerami opartymi na krzemie. Dzisiejsze komputery optyczne mają wprawdzie dość pokaźne rozmiary, głównie ze względu na wymiary laserów i tranzystorów optycznych, ale ich moc obliczeniowa nie

⁵⁷⁴ W rzeczywistości to właśnie sprawność silnika spalinowego sięga 40%, nato-last sprawność ogniwa paliwowego jest niemal dwukrotnie większa i dochodzi do sprawności silnika elektrycznego, czyli 80-90% (przy p. dum.).

⁵⁷⁵ Daniel Sperling: Samochody elektryczne, "Świat Nauki", styczeń 1997, s. 36.

jest duża. Na początku przyszłego wieku sytuacja ta może ulec zmianie.

Lasery stosowane obecnie do zapisu danych na dyskach optycznych oraz w komunikacji światłowodowej to przede wszystkim półprzewodnikowe diody laserowe. Stanowią one jeden z ważniejszych elementów siły napędowej przemysłu elektronicznego. Problem tkwi w tym, że diody laserowe są sto razy większe niż wytwarzane przez przemysł komputerowy mikro-nowych rozmiarów tranzystory na płytkach krzemowych. (Typowa dioda laserowa ma wymiary około 250 mikrometrów). Tranzystory optyczne znajdują się obecnie na takim poziomie rozwoju, jak tranzystory krzemowe w latach pięćdziesiątych.

Ale tę samą technikę fotolitografii, dzięki której powstały mikroprocesory stosowane w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych, będzie można wykorzystać w przyszłości do wytrawiania mikrolaserów. Cały proces zaczyna się od napylenia cząsteczek arsenku glinu lub arsenku galu na płytkę krzemową. W ten sposób wytwarzane są warstwy grubości atomu. Typowy mikrolaser może się składać nawet z 500 warstw. Następnie, wzdłuż i w szerz tych warstw, metodą fotolitografii wytrawia się rowki, dzięki czemu na płytce krzemowej powstają mikrolasery o kształtach przypominających maleńkie puszkę coca-coli.

Pierwszą udaną demonstrację mikrolaserów przeprowadzili w 1989 roku naukowcy związani głównie z Laboratoriami Bella.⁵⁷⁷ Na płytce wielkości paznokcia wytworzyli oni aż milion mikrolaserów o rozmiarach bakterii. Znajdowały się one w rzędach przypominających szeregi starannie poustawianych beczulek. Badaczom udało się stworzyć lasery o średnicy około 1-5 mikrometrów. Uczni sądzą jednak, że mogą powstać mikrolasery o średnicy sięgającej 1/3 mikrometra. Uważają oni, iż jest to ostateczna fizyczna granica wielkości mikrolasera. (Rozmiary mikrolasera powinny być nieco większe niż długość fali wytwarzanego światła. Jeśli mikrolaser jest od niej mniejszy, nie działa poprawnie. Długość fali światła laserowego w tych eksperymentach sięgała mikrometra. Ze względu na współczynnik załamania światła długość fali w arsenku galu jest efektywnie mniejsza niż mikrometr i wynosi około 0,3 mikrometra, co jest prawdopodobnie wartością graniczną dla tego typu mikrolaserów).

Te rozmiary mikrolasera nie pozwolą przełamać bariery 0,1 mikrometra, przed którą stoi mikroprocesor oparty na krzemie. Mikrolasery nie rozwiążą więc problemu bariery rozmiarów. Ale dzięki temu, że wiązki laserowe bez przeszkód przenikają jedna przez drugą, komputer optyczny może mieć architekturę trójwymiarową, co umożliwia wzrost jego mocy obliczeniowej. Mikrolasery wytwarzają nadzwyczaj małe ilości ciepła, zatem grzanie w laserach optycznych jest minimalne, a to pozwala na dalszą miniaturyzację komputerów.

Nowym typem laserów są także olbrzymie instalacje, takie jak lasery rentgenowskie. Zaletą tych urządzeń jest to, że ich promieniowanie może nieść ze sobą nadzwyczajne ilości informacji. Im wyższa częstota światła, tym więcej impulsowych sygnałów da się zakodować w wiązce. Ponieważ lasery rentgenowskie wytwarzają bardzo krótką falę (niewiele dłuższą od rozmiarów

⁵⁷⁶ *Ibidem*, s. 39.

⁵⁷⁷ *The Computer in the 21 st Century*. Scientific American Books, Nowy Jork 1995, s. 62.

atomu), znajdują zastosowanie w wielu działach przemysłu. Ich światła można użyć do trawienia subtelných elementów mikroprocesorów krzemowych, być może nawet poniżej bariery 0,1.

Ponadto, dzięki tak małej długości fali promieniowania powstającego w laserach rentgenowskich, prawdopodobne jest zastosowanie ich do dokładniejszych badań świata bakterii i wirusów. Pozwoliłoby to poznać strukturę tych drobnoustrojów na poziomie atomowym.

Jednakże, jak wielokrotnie podkreślałem w poprzednich rozdziałach, istnieją zasadnicze problemy związane z użyciem laserów rentgenowskich. Promienie X są jonizujące, a ponadto przenikliwe, trudno więc znaleźć materiały, z których można by wykonać zwierciadła dla tego rodzaju promieniowania.

Kolejna trudność wiąże się z tym, że światło laserowe ulega wzmocnieniu na skutek wielokrotnego odbijania od ustawionych naprzeciwko siebie równoległych lusterek. Dzieje się tak dopóki nie wydestynuje się ono przez któreś z nich. Promienie X są przenikliwe, zatem nie można stosować tej metody w laserach rentgenowskich.

Jedno z rozwiązań tego problemu polega na użyciu tak silnego źródła energii początkowego impulsu, żeby wystarczyło pojedyncze przejście wiązki przez ośrodek. Wyjściem z sytuacji jest zasilanie lasera rentgenowskiego energią nuklearną. Na koncepcji tej opierał się nieprzemysłany program wojen gwiazdnych, popierany przez prezydenta Ronalda Reagana. Impuls promieniowania rentgenowskiego towarzyszący wybuchowi bomby wodorowej jest tak intensywny, że jego jednorazowe przejście przez pręt miedziany wystarcza, by powstała wiązka laserowego promieniowania rentgenowskiego.⁵⁷⁸ Nie można jednak wciąż detonować kolejnych bomb wodorowych. Jak widać, kłopoty techniczne związane z konstrukcją lasera rentgenowskiego są tak olbrzymie, że uniemożliwiają pojawienie się go w handlu.

Innym wyjściem z sytuacji jest modyfikacja istniejących już olbrzymich laserów znajdujących się w Narodowym Laboratorium Livermore. Chociaż wydaje się, że jest to najlepszy sposób rozwiązania problemu lasera rentgenowskiego, w rzeczywistości wcale nie gwarantuje on tak dużych korzyści, ze względu na ogromne koszty eksploatacyjne oraz rozmiary tych laserów. Instalacja w Livermore zajmuje obszar równy powierzchni boiska do piłki nożnej.

Lasery mogą znaleźć zastosowanie w konstrukcji trójwymiarowych odbiorników telewizyjnych, które zastąpiłyby konwencjonalne, dwuwymiarowe telewizory. Rozwój techniki w tym kierunku może zupełnie odmienić podejście do rozrywki. Chociaż na holograficzną telewizję trzeba będzie prawdopodobnie poczekać jeszcze kilka dziesiątek lat, do pokonania mamy jedynie bariery natury technicznej.

Zjawisko holografii polega na tym, że dwie wiązki światła laserowego krzyżują się w przezroczystym materiale, tworząc w nim wzór prążków interferencyjnych (jedna wiązka niesie ze sobą informację o obrazie, druga jest odnośnikiem pozwalającym na ustalenie różnicy faz). Obraz

⁵⁷⁸ Powtórna kalibracja odczytu energii wykazała, że laser rentgenowski o zasilaniu jądrowym generowałby w istocie mniej energii w impulsie, niż się spodziewano. O wiele za mało, by użyć go w Wojnach Gwiazdnych. Co więcej, cały program można by sparaliżować zastosowaniem prostych przeciwśrodków, na przykład wyrzuceniem do atmosfery milionów balonów o metalizowanej powierzchni lub innych obiektów, których obecność wprowadziłaby w błąd radarzy naziemne, uniemożliwiając precyzyjne skierowanie wiązki lasera rentgenowskiego.

interferencyjny, złożony z jaśniejszych i ciemniejszych plamek i linii ustawionych tak, iż przypominają pajęczą sieć, zostaje wpisany w materiał płytki. Odtworzenie obrazu następuje w momencie prześwietlenia płytki drugą wiązką laserową. Możemy wówczas odczytać dokładny, trójwymiarowy front falowy tej wiązki światła, która była nośnikiem obrazu.

Jeśli udałooby się odczytać i zachować w komputerze informację zawartą w obrazie interferencyjnym, to program mógłby odtworzyć front falowy pierwotnej fali i zrekonstruować trójwymiarowy obraz.

Odbiornik trójwymiarowej telewizji przyszłości może wyglądać jak szklana kula - patrząc w nią będziemy widzieć trójwymiarowe tańczące wewnątrz obrazy - może mieć również kształt ekranu na całą ścianę. Siedząc naprzeciw płaskiej ścianie, widz miałby przed sobą pełny, trójwymiarowy obraz poruszających się w przestrzeni osób. Ekran mógłby nawet przyjąć kształt kopuły (tak jak planetarium) prezentującej obrazy w pełnym kącie 360 stopni.

Aktualnie wprowadzenie trójwymiarowej telewizji nie jest jeszcze możliwe ze względu na brak komputerów o odpowiedniej pamięci niezbędnej do przechowywania olbrzymiej ilości informacji, których wymagają obrazy holograficzne. W Laboratorium Środków Przekazu w MIT powstały co prawda prototypowe obrazy holograficzne generowane za pomocą komputera, ale są one niedoskonałe: zmiana kąta widzenia na skutek ruchów głową na boki powoduje niewielkie przekształcenia obrazu, tak jak ma to miejsce w przypadku oglądania obiektów trójwymiarowych. Ale jeśli porusza się głową w górę i w dół, zmieniając kąt widzenia, nie pociąga to za sobą żadnych zmian perspektywy.

Przy obecnym poziomie techniki odbiornik telewizji holograficznej musiałby być ogromny. Do stworzenia każdego obrazu należałoby wykorzystać wielkie centra superkomputerowe, a nawet proste widoczki zmieniałyby się z niewielką szybkością. Natomiast przesyłanie obrazów zwykłymi kablami lub przewodami telefonicznymi byłoby w ogóle niemożliwe.

Lecz około połowy przyszłego wieku, kiedy komputery będą w stanie przetwarzać informację kodującą trójwymiarowe obrazy, telewizja trójwymiarowa może stać się rzeczywistością.

Po roku 2100: silniki zasilane antymaterią

Większość technik, o których dotychczas wspominałem, zostanie najprawdopodobniej wprowadzona w latach 2020-2100. W XXII wieku niemal na pewno pojawią się zupełnie nowe technologie. Najbardziej intrygującą z nich jest silnik napędzany antymaterią.⁵⁷⁹ Wszyscy fani serialu *Star Trek* wiedzą, że pojazd *Enterprise* czerpie energię z antymaterii. Ale nie każdy zdaje sobie sprawę z tego, że Gene Roddenberry zaczerpnął ten pomysł z mechaniki kwantowej.

W 1928 roku P. A. M Dirac, jeden ze współtwórców mechaniki kwantowej, wyprowadził równanie opisujące ruch elektronów, uwzględniające postulaty teorii względności Einsteina. Dirac stwierdził,

⁵⁷⁹ Cząstki antymaterii mają ładunek przeciwny do odpowiadających im cząstek materii. Tak więc antyelektrony (pozytony) są naładowane dodatnio. W antyatomie dodatni antyelektron krąży dookoła jądra zawierającego ujemnie naładowany antyproton. Antyatom jest więc obojętny elektrycznie. W zasadzie mogą istnieć antycząsteczki, anty-DNA, a nawet antyludzie. W zetknięciu z materią antymateria ulega anihilacji, następuje erupcja energii w postaci promieniowania gamma i strumieni cząstek elementarnych.

że znaleziony przez Einsteina związek pomiędzy masą a energią, zapisany w postaci słynnego równania $E=mc^2$, nie jest w zupełności poprawny. Aby właściwie sformułować równanie, należy wyciągnąć pierwiastek kwadratowy z pewnego wyrażenia. Prawdziwa relacja powinna więc wyglądać następująco:

$$E = + \text{ lub } - mc^2.$$

Formułując teorię względności, Einstein zignorował znak minus. Dirac wykrył jednak, że jego własna teoria ruchu elektronu staje się poprawna dopiero wtedy, kiedy weźmie się pod uwagę również wyrażenie z minusem. Zmusiło go to do zaproponowania istnienia całkowicie nowego rodzaju materii - antymaterii, składającej się z cząstek o nadzwyczajnych własnościach.

Na pierwszy rzut oka antymateria niczym nie różni się od zwykłej materii. Można w niej znaleźć antyatomy składające się z antyelektronów i antyprotonów. Teoretycznie możliwe jest nawet istnienie antyludzi i antyplanet. Świat zbudowany z antymaterii niczym by się nie różnił od świata zwykłych ludzi oraz od zwykłych planet. Ale na tym kończą się podobieństwa. Ładunek elektryczny cząstek tworzących antymaterię jest przeciwny do ładunku odpowiadających im cząstek materii. Ponadto cząstki antymaterii, napotkawszy cząstki zwykłej materii, anihilują w potężnej erupcji energii, unicestwiają się i pozostaje po nich czyste pole promieniowania. Każdy, kto wziąłby do ręki kawałek antymaterii, eksplodowałby natychmiast z siłą tysięcy bomb wodorowych.

Antymateria z pewnością nie nadaje się do trzymania w ręku, natomiast mogłaby się okazać idealnym paliwem do statków kosmicznych. Nie powodując powstawania spalin czy innych odpadów, wytwarzałyby ogromną siłę ciągu silników.

Badacze pracujący w laboratoriach fizycznych od dawna mieli do czynienia z niewielkimi ilościami antymaterii widocznej w produktach rozpadu atomów radioaktywnych. (W szkole średniej zrobiłem przeznaczone na konkurs naukowy zdjęcia śladów cząstek emitowanych przez radioaktywny sód 22). Naukowcy natykają się również na antymaterię w potężnych akceleratorach podczas zderzania rozpędzonych wiązek protonów z nieruchomą tarczą. Antyelektrony i antyprotony występują powszechnie wśród "gruzu" cząstek elementarnych, który powstaje po takim zderzeniu. Potężne magnesy pomagają wypreparować większość tych cząstek.

Wytwarzanie dużych ilości antyatomów i antycząsteczek jest jednak prawie niemożliwe nie tylko ze względu na ograniczenia praktyczne, ale także z powodów finansowych. Dopiero niedawno, w 1995 roku, fizykom pracującym w akceleratorze w Europejskim Laboratorium Fizyki Cząstek (CERN), w Szwajcarii, udało się uzyskać niewielkie ilości antywodoru.

Wiązkę cząstek antymaterii można otrzymać, zderzając wiązkę rozpędzonych cząstek zwyczajnej materii z jakimś obiektem. Podczas takiego zderzenia powstaje mnóstwo nowych cząstek, w tym wiele cząstek antymaterii, które można wyodrębnić dzięki silnemu polu magnetycznemu. Wiazkę otrzymanych w ten sposób antyprotonów krążącą w akceleratorze fizycy z CERN rozpędzali i zderzali ze strumieniem gazowego ksenonu. Podczas zderzeń między antyprotonami i atomami ksenonu powstawały antyelektrony. Niektóre z nich napotykały

antyprotony i na chwilę się z nimi łączyły. W ten sposób powstawały atomy antywodoru.⁵⁸⁰ Niestety, antywodór ten pojawiał się tylko na 40 miliardowych części sekundy, a to zbyt krótko, by można było przeprowadzić bardziej szczegółowe badania.

Wiadomo więc, że antywodór istnieje. Obecnie celem naukowców jest wytworzenie stabilnej próbki tego pierwiastka i zamknięcie jej w jakimś pojemniku. Skonstruowano już pewien rodzaj pułapki mogącej z powodzeniem przechowywać antyelektrony oraz antyprotony. Potrząsk ten działa dzięki kombinacji pól magnetycznego i elektrycznego. W celu uformowania atomów antywodoru, należy pozwolić połączyć się tym cząstkom. Fizycy z Centrum Optyki Kwantowej Instytutu Maxa Plancka w Garching, w Niemczech, przeprowadzają obecnie doświadczenia z użyciem laserów opartych na dwutlenku węgla. Chcą w ten sposób zmusić antyelektrony i antyprotony trzymane w pułapkach do połączenia się w antywodór.

Koszt wytworzenia antywodoru jest niezmiernie wysoki. Na otrzymanie antycząsteczek trzeba będzie poczekać jeszcze dziesiątki lat. Biorąc pod uwagę obecny poziom techniki, produkcja takiej ilości antimaterii, aby można jej było używać jako paliwa do silnika, spowodowałaby bankructwo nawet Stanów Zjednoczonych.

Kolejny problem wiąże się z miejscem, w którym można by przechowywać antimaterię. Każdy pojemnik zawierający ją natychmiast eksploduje. Antyatomów nie można również umieścić ani w polu magnetycznym, ani w magnetycznej butelce, gdyż są one obojętne elektrycznie. A neutralne przedmioty, na przykład z plastiku (czy z antyplastiku), przechodzą bez jakichkolwiek zauważalnych efektów nawet przez najsilniejsze pola magnetyczne.

Naukowcy nie widzą żadnych przeszkód, aby w odległej przyszłości stosować antimaterię do napędu silników. Zasadniczym ograniczeniem są niezwykle wysokie koszty produkcji takiego paliwa. (Istnieje jednak nadzieja na znalezienie w przestrzeni kosmicznej zbudowanego z antimaterii meteorytu. W 1977 roku dostrzeżono olbrzymią "fontannę" antimaterii w pobliżu centrum Galaktyki. Niewykluczone, że pewnego dnia uda się znaleźć antimaterię w stanie rodzimym). Wytwarzanie antimaterii w opisany wyżej sposób jest tak drogie, że trzeba będzie wymyślić jakieś inne metody jej otrzymywania. Z tego właśnie powodu silniki wykorzystujące antimaterię należą do dalekiej przyszłości.

Bunt przeciw prawom fizyki

Twierdzenie, że coś nie może powstać, jest zawsze ryzykowne. Zbyt wiele razy ci, którzy mówili, że pewne rzeczy są niemożliwe, dożywali czasów ich istnienia. Setki tych, którzy nie wierzyli w dokonania braci Wright, Jamesa Watta i Thomasa Edisona, niedowiarków, którzy udowadniali, że latanie aeroplanem, działanie maszyny parowej i świecenie żarówki jest niemożliwe, nie tylko ujrzały te wynalazki, lecz przekonały się także, w jaki sposób wpłynęły one na bieg historii.

Ponieważ dosyć dobrze poznaliśmy prawa natury, możemy stwierdzić, że pewne rozwiązania techniczne są niezgodne ze znanymi prawami elektrodynamiki, mechaniki kwantowej, teorii

⁵⁸⁰ "Science News", 13 stycznia 1996, s. 20.

względności itd. Stwierdzenie to nie wyklucza jednak przyszłych odkryć. Wynika z niego jedynie, że, zgodnie z naszym rozumieniem praw przyrody, niektóre rozwiązania są nadzwyczaj mało prawdopodobne.

Poniżej przedstawiam kilka futurystycznych rozwiązań technicznych, które już często opisywano, ale ich działania wciąż nie możemy do końca zrozumieć i najprawdopodobniej na zawsze pozostaną poza naszym zasięgiem:

Pistolety typu Snop Gorąca

Technika snopów gorąca pojawiła się w *Wojnie światów* H. G. Wellsa. W książce polegała ona na użyciu przez Marsjan skoncentrowanych wiązek energii odpalanych z machin kroczących. W ten sposób przybysze niszczyli całe miasta. Dzięki tej broni sprowadzili oni rasę ludzką do poziomu niewolników.

Wiązki światła dzisiejszych laserów mogą być równie potężne: potrafimy wytworzyć wiązkę o mocy milionów watów, której błysk przebija stal. Jedynymi ograniczeniami mocy wiązki są: wytrzymałość ośrodka, w którym działa laser (grzeje się on, pęka i staje się niestabilny przy wielkich mocach), oraz źródło zasilania.

Problem tkwi również w stworzeniu poręcznego urządzenia, które moglibyśmy z łatwością przenosić. Jeśli chce się trzymać w ręku pistolet rażący promieniem transportującym energię porównywalną z produkcją elektrowni jądrowej, trzeba podłączyć ten pistolet do prawdziwej elektrowni atomowej.

Kwestia ta stanowiła główną przeszkodę w realizacji planu wojen gwiazdnych zaproponowanego przez prezydenta Reagana w 1983 roku. Potrzeba było przenośnych pakietów mocy, które dałoby się rozmieścić na satelitach okrążających Ziemię. Jedynym znanym źródłem tak wielkiej mocy jest bomba wodorowa. Detonacji bomby wodorowej towarzyszy potężny błysk promieniowania rentgenowskiego, które - jak już mówiliśmy -po przejściu przez miedziany pręt może wytworzyć intensywną wiązkę rentgenowskiego promieniowania laserowego. I istotnie, początkowo Edward Teller proponował rozmieścić tysiące bomb wodorowych na stacjonarnych satelitach Ziemi. Głównym elementem każdego z tych sputników, nazwanych *Excalibur*, miał być laser rentgenowski.

Wkrótce potem wykazano jednak, że nawet laserom rentgenowskim zasilanym bombami wodorowymi nie starczyłoby energii i sprawności do zestrzelenia w krótkim czasie tysięcy rosyjskich rakiet z głowicami jądrowymi.

Przenośny magazyn mocy dla pistoletu rażącego strumieniem energii, czyli snopem gorąca, pomijając bombę wodorową, na razie nie istnieje i naukowcy nie wiedzą nawet, gdzie można by go poszukiwać.

Pola siłowe

Pola sił - przezroczyste, nieprzenikalne ściany z czystej energii - są stałym elementem opowiadań fantastycznonaukowych. Zanim, ewentualnie, udałoby się nam skonstruować pole

siłowe, musimy poznać istotę czterech podstawowych oddziaływań rządzących Wszechświatem: siły elektromagnetycznej, siły grawitacyjnej oraz oddziaływań jądrowych - słabego i silnego. Żadna z tych sił nie jest w stanie stworzyć pola siłowego.

Użycie sił elektromagnetycznych jest mało prawdopodobne, gdyż wiele obiektów nie reaguje ani na pole elektryczne, ani magnetyczne. Swobodnie przemieszczają się one w tych polach. Jak już wcześniej wspomnieliśmy, kawałek tworzywa sztucznego można przesuwac w silnym polu magnetycznym i nie wywołuje to żadnego skutku.

Zastosowanie pola grawitacyjnego jest wykluczone, gdyż działają w nim jedynie siły przyciągające, a nie odpychające. Ponadto jest ono niezwykle słabe. Jeśli uczesze się włosy grzebieniem z tworzywa sztucznego, to grzebień podnosi potem kawałki papieru. A zatem działanie pola grawitacyjnego wytwarzanego przez całą planetę można zrównoważyć działaniem zwykłego grzebienia, przeciągnąwszy nim parę razy po włosach.

W grę nie wchodzi również siły jądrowe, słaba i silna, gdyż działają one jedynie na bardzo małych odległościach, porównywalnych do rozmiarów jąder atomowych. Natomiast powieściowe pola siłowe obejmują metry, a nawet kilometry.

Są jednak pewne nadzieje na skonstruowanie pól siłowych. Jedna z nich wiąże się z istnieniem jakiejś nieznannej dotychczas "piątej siły". Podejmowano już próby znalezienia siły, która mogłaby działać na odległościach wielu metrów. Pojawiły się nawet doniesienia o jej odkryciu, ale wyników tych nie udało się potwierdzić. Po drugie, biorąc pod uwagę, że nasze rozumienie oddziaływań słabych i silnych jest wciąż dość ograniczone, może któregoś dnia uda się stworzyć pole siłowe, które - choć będzie działać w atomowych skalach odległości - da się rozciągać, kumulując działanie, na metry i kilometry. Niestety, nikt nie wie, jak tego dokonać.

Transportery i replikatory

Dla milionów fanów serialu *Star Trek* hasło "Prześlij mnie, Scotty!", stało się popularnym powiedzonkiem. Większość widzów sądzi, że chociaż pomysł silnika o napędzie czasoprzestrzennym dla statku Enterprise wygląda na nieco naciągany, transporter można by skonstruować. Nic podobnego. Z równań teorii Einsteina i mechaniki kwantowej wiemy, jakie tunele czasoprzestrzenne mają prawo się pojawiać. Natomiast fizycy bezradnie rozkładają ręce, gdy przychodzi do zaprojektowania mechanizmu transportera pozwalającego przenosić osoby.

Pomysł, żeby coś rozłożyć na atomy, przesłać przez przestrzeń i poskładać z powrotem, jest wręcz fantastyczny. Pokonanie któregośkolwiek z tych etapów musiałoby nastąpić wbrew regułom fizyki.

Po pierwsze, nie możemy rozłożyć człowieka na atomy, bo nie potrafimy podać ich dokładnego położenia. Zapamiętanie informacji o położeniach zatkałoby pamięć wszystkich komputerów na Ziemi. Po drugie, nie można przesyłać atomów przez przestrzeń, nawet za pomocą fal radiowych. A po trzecie, nie wiedzielibyśmy, w jaki sposób poskładać z powrotem człowieka z atomów, nawet gdyby byłoby wiadomo, w którym miejscu umieścić każdy z nich.

Niewidzialność

Bohater powieści Wellsa *Człowiek niewidzialny* w wyniku wypadku staje się niedostrzegalny dla otoczenia. Unosi się on w czwartym wymiarze, tuż nad trzema wymiarami naszego świata, i choć sam może widzieć wszystko, co się dzieje w świecie trójwymiarowym, dla nas jest niewidzialny.

Niestety, nie wiemy, w jaki sposób uczynić kogoś niewidzialnym. To, czy coś jest widoczne, czy nie, zależy od własności zewnętrznych powłok elektronowych atomów. W obiektach nieprzezroczystych powłoki te po prostu absorbują energię padającego światła, a następnie pozbywają się jej, odtwarzając front falowy początkowej fali. Obecnie nie wiemy, jak manipulować powłokami elektronowymi atomów, aby zmienić ich własności optyczne w taki sposób, by przedmioty stały się zupełnie przezroczyste.

Przedstawione pomysły w żadnej mierze nie odpowiadają rzeczywistości i prawdopodobnie naruszają podstawowe prawa fizyki. Wszakże jedna technika futurologiczna wydaje się prawdopodobna: budowa statków kosmicznych pozwalających na lot do gwiazd.

DROGA DO GWIAZD

Nie ma powrotu do przeszłości. Wyborem jest Wszechświat - bądź nicłość.

HERBERT G. WELLS

Istnieją dwie możliwości: albo jesteśmy sami we Wszechświecie, albo nie.

Obie są równie przerażające. ARTHUR C. CLARKE

Niespodziewane odkrycie skamieniałości żywych form w kawałku marsjańskiej skały zwróciło uwagę świata na Czerwoną Planetę. Prezydent Clinton zareagował spontanicznie, stwierdzając latem 1996 roku: "Dzisiaj skalna próbka 84001 przemawia do nas poprzez miliardy lat i miliony kilometrów [...]. Mówi o szansach na znalezienie życia. Jeśli odkrycie to zostanie potwierdzone, poznamy nową, niezwykłą twarz Wszechświata, będzie to jedno z najbardziej zadziwiających odkryć naukowych". W wypowiedzi tej ujawniło się udzielające się wszystkim podekscytowanie wywołane hipotezą dotyczącą życia na Marsie. W 1997 roku uczeni zastanawiali się nawet nad istnieniem życia na którymś z księżyców Jowisza.

Nie ulega wątpliwości, że w XXI wieku w miarę rozszerzania granic naszej wiedzy będziemy świadkami ogromnej liczby zadziwiających, często przełomowych odkryć związanych z badaniami przestrzeni kosmicznej. Zobaczymy samodzielne roboty poruszające się po Marsie i badające jego powierzchnię. Będziemy oglądali następcę dzisiejszych wahadłowców, X-33 "entureStar, wznoszącego się w przestrzeń kosmiczną, aby połączyć się ze stacją Alfa, powstałą w wyniku współpracy kilkunastu państw. W XXI wieku pojawią się również nowe typy teleskopów zdolnych dostrzec podobne do Ziemi planety znajdujące się poza Układem Słonecznym. Odkrycie tych planet bez wątpienia skłoniłoby uczonych do zaprojektowania statków kosmicznych pozwalających na podróż do najbliższych gwiazd w poszukiwaniu Inteligentnych form życia.

Poznano już wiele praw fizyki i rozwiązań technicznych niezbędnych do rozwoju techniki raketowej. Przeto możliwe są dość rozsądne przepowiednie dotyczące opanowywania przez ludzi przestrzeni kosmicznej w XXI, a nawet w XXII wieku. W rozdziale tym zarysuję perspektywy rozwoju badań kosmicznych do roku 2020. NASA określiła już podstawowe cele tych badań. Następnie omówię możliwy rozwój wydarzeń w latach 2020-2050, kiedy nowe rodzaje napędu powinny umożliwić podróże międzyplanetarne, oraz okres po 2050 roku aż poza wiek XXII, kiedy ludzkość zacznie brać pod uwagę możliwość kolonizacji innych planet.

Rozważania dotyczące kolonizacji przestrzeni kosmicznej nie są jedynie spekulacjami lub pobożnymi życzeniami. Zasiedlanie nowych planet wiąże się z przetrwaniem naszego gatunku. Ziemia znajduje się w środku kosmicznej tarczy strzelniczej. W ciągu następnych tysięcy lub

milionów lat nieuchronnie trafi w nią jakiś duży meteoroid lub kometa albo ulegnie ona jakiejś innej katastrofie, która niemal zniszczy życie. Oznacza to, że pewnego dnia nasz gatunek będzie musiał znaleźć w przestrzeni kosmicznej takie miejsce, w którym mógłby żyć, w przeciwnym razie - zginie.

Do roku 2020

Zaczął się opanowywanie Marsa! Kiedy w roku 1898 Herbert George Wells pisał swoją klasyczną już teraz powieść *Wojna światów*, przyjmował, że to mieszkańcy Marsa zaatakują Ziemię. Dzieje się jednak Inaczej - to Ziemianie zajmują Marsa. W latach 1997-2007 NASA planuje wysłanie 10 pojazdów kosmicznych w kierunku Czerwonej Planety.⁵⁸¹ Daje to średnio jedną misję na rok. Ekspedycje są formą przygotowania się do zainstalowania na Marsie stałej bazy obsługiwanej przez roboty, a może nawet pojawienia się tam, pod koniec XXI wieku, człowieka.

Tempo wysyłania w kierunku Marsa kolejnych ekspedycji bez wątpienia ulegnie przyspieszeniu, jeśli zostaną potwierdzone odkrycia naukowców z Centrum Kosmicznego Johnsona dotyczące istnienia na tym globie mikroorganizmów. Jak podały agencje światowe, uczeni ci badali niezwykłą klasę meteoroidów, a mianowicie te, które tysiące lat temu spadły na Antarktydę. (Ponieważ kontynent ten jest niemal kompletnie biały, odnajdywanie na tym lodowym pustkowiu meteoroidów nie stwarza trudności). Okazało się, że meteoroidy te mają dokładnie taki sam skład jak skały marsjańskie. Pozwoliło to badaczom wyciągnąć wniosek, że odłamki pochodzą z Czerwonej Planety.⁵⁸² Jako że Mars jest dwa razy mniejszy od Ziemi i w związku z tym na jego powierzchni przyspieszenie pola grawitacyjnego jest znacznie mniejsze, uczeni przypuszczają, że gwałtowne uderzenie w tę planetę jakiegoś ciężkiego obiektu wyrzuciło kawałki marsjańskiego gruntu daleko w przestrzeń, gdzie krążyły one miliony lat, zanim niektóre z nich spadły na Ziemię. Jak dotąd na Antarktydzie znaleziono 14 marsjańskich meteoroidów.

Uwagę uczonych przykuł kawałek skały wielkości dużego ziemniaka, któremu nadano nazwę ALH84001. Został on "wyszrzelony" z Marsa 16 milionów lat temu i długo dryfował w przestrzeni kosmicznej, zanim mniej więcej 13 tysięcy lat temu spadł na ziemski biegun południowy. Dokładna analiza materiału meteoroidu wskazuje, że 3,6 miliarda lat temu na Marsie mogło istnieć życie pod postacią mikroorganizmów. Zdjęcia tych form o wrzecionowatych kształtach wyglądają niemal identycznie jak skamieniałe pozostałości drobnoustrojów odnalezione na Ziemi, datowane na 3 miliardy lat.

Te zadziwiające doniesienia potwierdzili uczeni brytyjscy, którzy kilka miesięcy później ogłosili, że znaleziony przez nich meteoroid pochodzący z Marsa również zawierał organiczne ślady wskazujące na istnienie żywych form.⁵⁸³

⁵⁸¹ NASA planuje wysłanie dwu pojazdów kosmicznych co dwa lata w kierunku Marsa. Z wysłaniem statku w kierunku tej planety należy czekać, aż otworzy się "okno", tzn. odległość między Marsem a Ziemią będzie najmniejsza, co zdarza się właśnie raz na dwa lata.

⁵⁸² W rzeczywistości identyfikacji dokonano, badając niewielkie ilości gazu uwięzionego w meteoroidach. Skład chemiczny tego gazu jest identyczny ze składem atmosfery marsjańskiej (przyp. red.).

⁵⁸³ Od tego czasu pojawiły się już wyniki kilku niezależnych badań, zarówno potwierdzające, jak i krytykujące pierwotne wnioski. Spór ten będzie trwał latami, dopóki nie zostanie rozstrzygnięte, czy struktury te zawierają ścianki komórkowe, albo zanim prawdziwe próbki skalne z Marsa zostaną dostarczone na Ziemię.

Informacje te rozbudziły niezwykle zainteresowanie pierwszymi od 20 lat misjami na Marsa: misją *Pathfinder* oraz misją *Mars Global Surveyor*, rozpoczętymi wystrzeleniem satelitów w 1996 roku i lądowaniem na Marsie w 1997 roku. Jak widać NASA czyni wysiłki w celu eksploracji tej planety. Ale to dopiero początek starań.

NASA planuje kolejne wyprawy badawcze w kierunku Czerwonej Planety. Celem pierwszych misji będzie dokładniejsze zbadanie planety oraz umieszczenie na niej *Mars Rovera*, karaluchowatego stwora półmetrowej długości. (Jego konstrukcję oparto na owadopodobnych robotach Rodneya Brooksa opisanych w rozdziale czwartym). Pojawiwszy się na nieznanym, nierównym terenie, samodzielnie, bez żadnych instrukcji z Ziemi, pojazd uda się na zwiady (ponieważ sygnały radiowe będą do Marsa około 10 minut, sterowanie *Roverem* z Ziemi byłoby nazbyt kłopotliwe).

Następne odmiany *Rovera*, wyposażone w niewielki czerpak do pobierania próbek gruntu, będą poszukiwały śladów jakichś form życia i badały skład marsjańskiej gleby. Około 2005 roku roboty wyślą próbki skał marsjańskich na Ziemię. NASA rozważa wyprodukowanie z zasobów marsjańskich zarówno paliwa do napędu, jak i tlenu. Grunt Marsa zawiera prawdopodobnie sporo lodu, a atmosfera jest bogata w dwutlenek węgla. Wykorzystanie tych zasobów nie tylko zmniejszyłoby znacznie koszty powrotu na Ziemię, lecz miałyby zasadnicze znaczenie dla skonstruowania na powierzchni Marsa stałej bazy, obsługiwanej przez roboty.⁵⁸⁴

Jeśli zostanie potwierdzone, że na Marsie istniało kiedyś życie, chociażby w postaci mikrobów, to powstanie pytanie: w jaki sposób te żywe formy wyewoluowały na tak niegościnniej planecie?

Mars: zamrznięta pustynia

Na podstawie danych przekazanych przez sondy *Mariner* i *Viking* wiemy, że Mars przypomina zamrzniętą pustynię. Jest zimną, surową planetą, na której ciągle panują ujemne temperatury. Nad niegościnnymi, opustoszałymi terenami szaleją gwałtowne burze. Cienka atmosfera ma gęstość tak niską, że stanowi ona 1% gęstości atmosfery ziemskiej; składa się głównie z nie nadającego się do oddychania dwutlenku węgla. (Każdy, kto znalazłby się na Marsie bez skafandra kosmicznego, natychmiast by się udusił, zamarznął, a najpewniej eksplodował).

Ale nie zawsze tak było. Kilka miliardów lat temu na Marsie znajdowało się wiele jezior, mórz, a być może i oceany. Na powierzchni planety dostrzec można koryta pradawnych rzek oraz pozostałości po wyspach o brzegach podmytych przez falujące niegdyś wody. Świadczy to, że kiedyś na Marsie musiał panować zupełnie inny klimat. Carl Sagan pisał: "3,8-4,0 miliarda lat temu warunki na Marsie [...] mogły sprzyjać powstaniu życia. Na jego powierzchni znajdujemy ślady istnienia w przeszłości rzek, jezior, a może nawet oceanów o głębokości przekraczającej 100 metrów".⁵⁸⁵ (Była to planeta na tyle sprzyjająca powstaniu życia, że niektórzy uczeni przypuszczają, iż życie narodziło się właśnie na Marsie, a nie na Ziemi. Sądzą oni, że marsjańskie meteoryty "rozsiały" pierwotne mikroorganizmy po naszej planecie. "Kto jest w stanie zaprzeczyć,

⁵⁸⁴ "Space News", 2-8 września 1996, s. 3.

że nie jesteśmy wszyscy Marsjanami?" - pyta Richard Zare z Uniwersytetu Stanforda).⁵⁸⁶, ⁵⁸⁷

NASA poważnie rozważa projekt zbudowania po 2010 roku stacji na Marsie, której załogę stanowiłyby roboty. Zbierałyby one dane o warunkach panujących na powierzchni planety oraz przekopywały grunt w poszukiwaniu substancji, dzięki którym stacja mogłaby stać się samowystarczalna.

W nakreśleniu planów wysłania większej liczby międzyplanetarnych sond badawczych istotną rolę odegrało doniesienie z 1997 roku o tym, że na jednym z księżyców Jowisza, Europie, mogą istnieć warunki pozwalające na przetrwanie żywych form. Choć Europa to surowy, zamrożony glob, jest prawdopodobne, że pod lodową skorupą znajduje się ocean wody podgrzewanej przez czynne wulkany, rozpad radioaktywny lub przyciąganie grawitacyjne Jowisza, które może powodować ogromne fale pływowe. Krążąca wokół Jowisza sonda *Galileo* zrobiła zdjęcia Europy z odległości około 600 kilometrów; widoczne są na nich jakby czerwono zabarwione morza z pływającymi po nich górami lodowymi. Skoro na Ziemi można znaleźć mikroby żyjące w pobliżu kraterów wulkanicznych na dnie morza, dlaczego jakieś organizmy nie miałyby żyć w podobnych warunkach na Europie. "Jestem pewien, że istnieje tam życie" - oświadcza John Delany z Uniwersytetu Waszyngtońskiego.⁵⁸⁸

Chociaż projekty wysłania ludzi na Marsa wywołują romantyczne wspomnienia decyzji prezydenta Johna F. Kennedy'ego o lądowaniu człowieka na Księżycu, program taki byłby nader ryzykowny, a korzyści naukowe niewarte zainwestowanych pieniędzy. Szacuje się, iż misja kosztowałaby minimum 500 miliardów dolarów i byłaby przedsięwzięciem skrajnie niebezpiecznym.

Rezygnując z tych planów, NASA podjęła rozsądną decyzję. Chciano uniknąć pomyłki z lat sześćdziesiątych, kiedy to program kosmiczny, napędzany rozgrywkami dyplomatycznymi zimnej wojny, załamał się w chwili, gdy politycy przestali interesować się Księżycem. Trudno przewidzieć przyszłość podróży kosmicznych, ponieważ ich siłą napędową jest często polityka, a nie nauka. Nierzadko politycy żądają od astronautów dokonywania widowiskowych, lecz pozbawionych sensu wyczynów w przestrzeni kosmicznej. Roboty mogłyby wykonać to samo znacznie taniej. Jak powiedział jeden z polityków: "No Buck Rogers, no bucks".⁵⁸⁹

William Walter w swojej książce *Space Age (Era kosmiczna)* pisał tak: "Nasza wielka miłość do Księżyca okazała się jedynie flirtem, przygodą jednej nocy rozpaloną namiętnościami zimnej wojny". Lyndon B. Johnson najdobitniej wyraził pobudki kierujące przywódcami Stanów Zjednoczonych, stwierdzając cierpko: "Nie chciałbym kłaść się do łóżka w świetle

⁵⁸⁵ Carl Sagan: Poszukiwanie życia pozaziemskiego, "Świat Nauki", grudzień 1994, s. 75.

⁵⁸⁶ "Time", 19 sierpnia 1996, s. 62.

⁵⁸⁷ Niestety. Mars jest małą planetą i jego słabe pole grawitacyjne nie jest w stanie powstrzymać atmosfery od ucieczki w przestrzeń kosmiczną. Przy obniżającym się niegdyś ciśnieniu gazów atmosferycznych woda nie mogła dłużej pozostać w fazie ciekłej. Kiedy atmosfera zaczęła uciekać w przestrzeń, jeziora i morza wyparowały lub wsiąkły w grunt, tworząc wieczne zmarzliny. Część wody ostała się jako czapy lodowe okolic podbiegunowych. Jakikolwiek formy życia, które mogło powstać tam 3 miliardy lat temu, spotkał ten sam los co i wodę: albo wyleciały w przestrzeń kosmiczną, albo zamarły w wiecznych lodach pod powierzchnią Marsa, albo zostały zamrożone w lodowych pokrywach biegunów.

⁵⁸⁸ "N.Y. Daily News". 10 kwietnia 1997, s. 5.

⁵⁸⁹ Nieprzetłumaczalna gra słów: nie ma Bucka Rogersa, nie ma kasy. *Bucks* - popularna nazwa dolarów, Buck Rogers -

komunistycznego Księżyca". W równie lakoniczny sposób ocenił sytuację Isaac Asimov, kpiąc z gwałtownie opadającego po zdobyciu Księżyca zainteresowania Waszyngtonu badaniami przestrzeni kosmicznej: "Strzeliliśmy gola. Wygraliśmy i możemy iść do domu".

Obecne podejście NASA do nowych misji odzwierciedla dewiza przyjęta przez jej dyrektora Daniela Goldina: "mniejsze, szybsze, tańsze, lepsze". Zamiast przeprowadzania raz na 20 lat jednej, niezwykle drogiej misji na Marsa (jak nieudana misja *Observera*, który prawdopodobnie eksplodował, zbliżając się do tej planety w 1993 roku), nowe plany NASA przewidują rozłożenie ryzyka i kosztów na dziesięć mniejszych, ale bardziej przemyślanych podróży w ciągu następnych 10 lat.

Stacja kosmiczna w 2002 roku

Mimo iż sam Goldin, dyrektor NASA, jest człowiekiem energicznym i myślącym dalekowzrocznie, nie może się uporać z problemami pozostawionymi przez jego poprzedników. Mowa tu o stacji kosmicznej *Alfa* oraz o wahadłowcu.

Międzynarodowa stacja kosmiczna *Alfa*, której budowa ma się zakończyć w czerwcu 2002 roku, stanie się słabą kopia okazałego portu kosmicznego, który Stanley Kubrick i Arthur C. Clarke wymyślili na potrzeby filmu *2001: Odyseja kosmiczna*. *Alfa* będzie ważyła jedynie 443 tony i, razem z rozległymi panelami baterii słonecznych, będzie miała rozmiary zbliżone do boiska do piłki nożnej, około 110 na 90 metrów. Jak to określił pewien prześmiewca, stacja z wyglądu przypomina wannę, której wyrosły skrzydła. Sześciu astronautów znajdujących się na jej pokładzie będzie obsługiwało siedem laboratoriów, orbitując na wysokości około 360 kilometrów nad powierzchnią Ziemi.

Żeby wynieść na orbitę wszystkie potrzebne do budowy stacji materiały, będzie musiało wystartować 67 wahadłowców, w tym 22 amerykańskie. Pozostałymi dostawami mają się zająć Rosjanie. Końcowy rachunek może wynieść nawet 60 miliardów dolarów (około 43 miliardów dolarów mają wyłożyć Stany Zjednoczone, a resztę pozostałe kraje), czyli niemal miliard za jeden start. Według General Accounting Office obliczenia NASA są zbyt optymistyczne. Przedstawiciele tej agencji podali bardziej realistyczną sumę 93,9 miliarda dolarów.

Albert Wheelon, były dyrektor Hughes Aircraft, w roku 1993 członek prezydenckiej komisji ds. stacji *Alfa* w USA, stwierdził: "Naukowa strona przedsięwzięcia jest szalenie wyolbrzymiona [...] To nieskomplikowany program zapewniający miejsca pracy".⁵⁹⁰ Amerykańska Narodowa Rada Badawcza, w której skład wchodzi wybitni badacze przestrzeni kosmicznej, stwierdziła, że program ten "nie jest uzasadniony względami naukowymi".⁵⁹¹

Z czysto naukowego punktu widzenia główny zarzut co do funkcjonowania stacji *Alfa* dotyczy tego, że program badań naukowych wydaje się nieprawdopodobnie ubogi, zważywszy na wydatki

bohater komiksu sprzed lat, wzór człowieka sukcesu i przykład wszelkiej poprawności (przyp. tłum.).

⁵⁹⁰ "Newsweek", 11 kwietnia 1994, s. 30.

⁵⁹¹ *Ibidem*.

rzędu 100 miliardów dolarów.⁵⁹² Niemal wszystkie planowane na *Alfie* eksperymenty można by przeprowadzić przy użyciu pojedynczych rakiet lub niewielkich stacji, takich jak rosyjski *Mir*, przeznaczając na to niewielką część wymienionej wyżej sumy.

Jednym z planowanych początkowo zadań misji było zbadanie mikrogravitacji, tzn. sposobów wytwarzania niekonwencjonalnych materiałów oraz białek w warunkach stanu nieważkości. Allan Bromley, fizyk, były doradca naukowy prezydenta G. Busha, dobitnie wyraził swą opinię na ten temat, mówiąc, że "mikrogravitacja jest mikroważna".

James Van Allen, badacz przestrzeni kosmicznej, wypowiadając się w imieniu większości uczonych, następująco skwitował całą sytuację: "Wahadłowiec i stacja są przeciwieństwem oczekiwań Goldina. Są większe, wolniejsze, droższe i gorsze".⁵⁹³

W 1997 roku projekt stacji *Alfa* został po raz kolejny skrytykowany. Naukowcy z Narodowej Rady Badawczej obliczyli, że istnieje 50% szans na to, iż podczas piętnastoletniego okresu trwania misji nastąpi katastrofalne w skutkach zderzenie z meteorytem. Niektóre z meteorytów mogą okazać się za małe, żeby wykryły je radary, ale wystarczająco duże, by uszkodzić zewnętrzne pokrycie stacji. Ponadto w związku z recesją gospodarczą w Rosji wywiązanie się Rosjan z umowy, tj. dostarczenie modułu centralnego, stoi pod znakiem zapytania.⁵⁹⁴ "Od dnia, w którym zaczęliśmy współpracować z Rosjanami, ciągle mamy kłopoty" - stwierdza Goldin.⁵⁹⁵ Opóźniło to już realizację programu co najmniej o rok.

Choć stacja *Alfa* może okazać się konstrukcją przestarzałą, NASA ma przynajmniej czym zastąpić wahadłowce.

X-33: lokomotywa XXI wieku

Przedstawicielka amerykańskiego Kongresu, Dana Rohrabacher, nazwała wahadłowiec "najskuteczniejszym urządzeniem do niszczenia pieniędzy".⁵⁹⁶, ⁵⁹⁷ Ta pozostałość po zimnej wojnie wciąż przysparza urzędnikom NASA kłopotów. Biorąc pod uwagę ciągle rosnące koszty lotów wahadłowca, stał się on czarną dziurą, w której giną pieniądze podatników. W ciągu całego roku wahadłowiec startuje jedynie 8 razy. Może zabrać

na pokład 27 ton ładunku, ale każdy jego lot kosztuje aż 800 milionów dolarów. Wysłanie w przestrzeń jednego kilograma kosztuje około 30 tysięcy dolarów, ponad dwa razy więcej, niż wynosi cena kilograma złota (około 12 tysięcy dolarów).

W tej sytuacji Europejskiej Agencji Kosmicznej, posiadającej zwinną raketę *Arianne*, udało się opanować dwie trzecie rynku usług polegających na umieszczaniu różnych obiektów na orbicie. Niedługo Stany Zjednoczone miały na to wyłączność.

Niewykluczone jednak, że sytuacja ulegnie zmianie. W lipcu 1996 roku administracja Clintona

⁵⁹² "New York Times", 29 czerwca 1995, s. A7; "Washington Post", 24 czerwca 1995, s. A8.

⁵⁹³ "Discover", lipiec 1994, s. 74.

⁵⁹⁴ "New York Times", 27 stycznia 1997, s. B9.

⁵⁹⁵ *Ibidem*.

⁵⁹⁶ "Time", 15 lipca 1996, s. 58.

⁵⁹⁷ John Lewis, wywiad z autorem, 11 grudnia 1996.

podpisała opiewający na sumę miliarda dolarów kontrakt z firmą Lockheed Martin na stworzenie projektu taniej i sprawnie działającej rakiety. Wielu badaczy uznało, iż kontrakt ten oznacza początek nowej ery, epoki tanich i częstych podróży w przestrzeń kosmiczną.

X-33 VentureStar, mający opływowy kształt pojazd kosmiczny wielokrotnego startu, czyli RLV [*reusable launch vehicle*), jest pierwszym nowym modelem od 30 lat. Projektuje się, że do końca 2000 roku prototyp wykona kilkanaście lotów.

Zaletami *VentureStar* są niskie koszty eksploatacji (wyniosą one dziesięciokrotnie mniej) oraz możliwość wielokrotnego wykorzystywania. Oszczędne gospodarowanie pieniędzmi przeznaczonymi na podbój kosmosu powinno zmienić stosunek społeczeństwa do podróży międzygwiazdnych. Podróże takie, dotychczas uważane za absurdalnie drogie, mogą się w końcu okazać czymś zwyczajnym. John Lewis, astronom z Uniwersytetu Arizony, przewiduje nawet nadejście dnia, kiedy podróż w kosmos będzie niewiele droższa od lotu międzykontynentalnego i każdy będzie mógł pozwolić sobie na taką wycieczkę.

X-33 ma niezwykły kształt. Przypomina nieco pojazd *Millennium Falcon* z filmu *Gwiezdne wojny*. Podobnie jak ten ostatni, *X-33* startuje i ląduje na zwyczajnym lotnisku. Nie ma członów rakiety nośnej, które w konwencjonalnym rozwiązaniu były po odpaleniu bezpowrotnie tracone. Docelowo ma startować 30 razy w ciągu roku, niemal cztery razy częściej niż obecne wahadłowce.

Dwudziestometrowej długości prototyp *VentureStar*, dwa razy mniejszy od planowanej końcowej wersji pojazdu, ma ruszyć

w pierwszą podróż w 2000 roku. Pojazd o normalnych rozmiarach zostanie w pełni wykorzystany przed 2006 rokiem. W 2008 roku "będą się po prostu odbywały zwykłe towarowo--pasażerskie loty zarówno te niezbędne do zaopatrywania stacji kosmicznej, jak i przeprowadzane w celach komercyjnych" -twierdzi Gene Austin, kierownik programu *X-33* w NASA.⁵⁹⁸ Do 2012 roku *X-33* powinien całkowicie zastąpić obecne wahadłowce.⁵⁹⁹ W końcu jego produkcję przejmie przemysł.

Orient Express

Na początku przyszłego wieku do *VentureStar* może dołączyć jeszcze jeden, całkowicie odmienny pojazd: samolot kosmiczny. Prezydent Reagan nadał mu nazwę *Orient Express*

(ze względu na to, że pokonywałyby odległość Tokio-Nowy Jork w ciągu jednej godziny). Ten hipersoniczny pojazd pomyślany jest jako maszyna lądująca i startująca jak zwykły samolot, ale poruszająca się w powietrzu jak rakietka. Nie potrzebuje ciężkich zbiorników z tlenem i kolejno odpalanych członów napędu raketowego, ponieważ zasysa tlen bezpośrednio z atmosfery, jak zwykły odrzutowiec. Po starcie porusza się z prędkością 2-3 machów (2400-3600 kilometrów na godzinę), ale osiągnąwszy górne warstwy atmosfery (gdzie powietrze jest już zbyt rozrzedzone, by silnik odrzutowy mógł pracować), wyłącza silniki odrzutowe, włącza raketowe i jak rakietka wyrzeliwuje na orbitę, przyspieszając jednocześnie do prędkości 23 machów.⁶⁰⁰

⁵⁹⁸ "Time", 15 lipca 1996, s. 58.

⁵⁹⁹ "Space News", 15-21 lipca 1996, s. 4.

⁶⁰⁰ 23 machy = 27 600 km/h, czyli 7,6 km/s, to przybliżona wartość pierwszej prędkości kosmicznej (przyp. tłum.).

Jak to ujął William Safire, dziennikarz z "New York Timesa": "Tym razem skupiliśmy się na skonstruowaniu samolotu, który przy prędkości 6500 kilometrów na godzinę zostawi z tyłu francusko-angielski Concorde tak, jak ożaglowana korweta wyprzedza łódkę wioślarzy".

Początkowy, dziesięcioletni etap budowy samolotu kosmicznego, kosztujący 1,5 miliarda dolarów, został zakończony w 1992 roku. Projekt budowy hipersonicznego odrzutowca, zwany obecnie programem zaawansowanej techniki transportu w przestrzeni kosmicznej, nadzoruje oddział NASA, Centrum Lotów Kosmicznych Marshalla w Huntsville (Alabama). Pierwsze testy powinny zacząć się w 2000 roku. Na rok 2002 przewidziany jest pierwszy lot modelu w pomniejszonej skali. A w 2005 roku mają rozpocząć się próby z pełnowymiarowym prototypem.

W 1997 roku NASA podpisała z firmą Microcraft wart 33,4 miliarda dolarów kontrakt na budowę nowego silnika do samolotu hipersonicznego. Zgodnie z projektem *Hyper-X*, w 1998 roku ma powstać bezzałogowy pojazd wielokrotnego wykorzystania, osiągający prędkość 5-10 machów (6000-12 000 kilometrów na godzinę).

Ostatecznym celem projektantów transportowych pojazdów hipersonicznych jest zredukowanie przed 2009 rokiem kosztów wyniesienia satelitów na niską orbitę okołozemską o 95%.⁶⁰¹ Jeśli uda się to osiągnąć, wysyłanie ładunków na orbitę, w tym również komercyjne podróże pasażerskie, staną się codziennością.

Budowa pojazdów nowego typu jest możliwa dzięki ogromnemu postępowi, który dokonał się w inżynierii materiałowej. Zamiast nieporęcznych (i często niebezpiecznych) płytek ceramicznych, używanych jako ciepła osłona kadłubów wahadłowców, stosuje się obecnie nowe, odporne, sprężyste i lekkie materiały. (Podczas powrotu do atmosfery, kiedy tarcie powietrza rozgrzewa wahadłowiec do wysokiej temperatury, utrata kilku cennych płytek stanowiących osłonę kadłuba mogłaby być zgubna w skutkach - wnętrze pojazdu zbyt by się ogrzało. Wiadomo, że w czasie każdego powrotu wahadłowca z orbity konstruktorzy modlą się o to, by żadna z płytek nie odpadła). Natomiast w pojazdach *RLV* stosowane są zaawansowane, lekkie kompozyty grafitu i żywic aluminiowo-litowych, które znacznie redukują ciężar i podnoszą sprawność pojazdu.

Kompozyty te są pięć razy lżejsze od stali i znacznie bardziej od niej wytrzymałe. Co prawda koszt produkcji kilograma tych kompozytów wynosi 3-4 dolary (kilogram stali kosztuje 40-80 centów), ale cena ta będzie się obniżać w miarę wzrostu produkcji. Biorąc pod uwagę niezwykle własności kompozytów ery kosmicznej, niektórzy projektanci rozważają zastosowanie podobnych materiałów do konstrukcji samochodów i pociągów pasażerskich. Zwiększyłyby to bezpieczeństwo podróży. Kompozyty wytwarza się z włókien węglowych, szklanych lub innych, wzmacniając nimi tworzywa sztuczne, ceramiki lub metale. Rewolucja w technikach obliczeniowych i mechanice kwantowej przyspieszyła powstanie materiałów tej klasy.

Modelowanie przepływu powietrza wokół kadłuba samolotu za pomocą superkomputerów oraz w rzeczywistości wirtualnej pozwala obliczyć temperaturę i naprężenia występujące w czasie lotu przy prędkościach hipersonicznych bez konieczności przeprowadzania kosztownych

⁶⁰¹ "Space News", 15-21 lipca 1996, s. 4.

eksperymentów. Ponieważ podstawy matematyczne przepływu powietrza i prawa aerodynamiki są dobrze znane, superkomputery potrafią podać dokładny opis zjawisk zachodzących w najbliższym sąsiedztwie pojazdu kosmicznego, który wpada w atmosferę z prędkością niemal 26 tysięcy kilometrów na godzinę.

Lata 2020-2050

Po 2020 roku potrzebne będą całkowicie nowe odmiany napędu raketowego, służące innym celom: misjom trwającym dłużej i mającym większy zasięg, polegającym na badaniu pasa planetoid i komet, a nawet zaopatrywaniu załogi bazy założonej na Marsie. W czasie gdy loty międzyplanetarne będą czymś zwyczajnym, konieczne stanie się skonstruowanie nowego, taniego i niezawodnego środka transportu.

Proponowano już różne napędy rakiet przyszłości, na przykład silnik jonowy, napęd jądrowy, działo wystrzeliwujące raketę z szyn oraz żagiel słoneczny.⁶⁰², ⁶⁰³ Większość tych pomysłów ma jednak istotne wady. Awaria rakiety o napędzie atomowym podczas lotu w przestrzeni międzyplanetarnej grozi śmiercią załogi. Aby działo wystrzeliwujące raketę z szyn prawidłowo funkcjonowało, musiałoby ono nadać jej takie przyspieszenie, że większość ładunków uległaby zmiążdżeniu. Natomiast żagiel słoneczny nie tylko trudno zbudować, lecz także niełatwo się nim posługiwać. Fizyk Freeman Dyson orzekł: "Wierzę, że tego rodzaju napęd zatriumfuje w przestrzeni kosmicznej, gdyż jego ekonomiczność, osiąganą za jego pomocą prędkości i wydajność są ograniczone jedynie prawami fizyki".⁶⁰⁴

Rola, którą w rozwoju techniki raketowej w XX wieku odegrała raketa o napędzie chemicznym, pod koniec XXI wieku przypadnie silnikowi o napędzie słoneczno-jonowym. Zasada działania tego silnika jest bardzo podobna do sposobu funkcjonowania działka elektronowego, znajdującego się w każdym odbiorniku telewizyjnym. W silniku jonowym źródłem energii byłyby baterie słoneczne. Czerpanym z nich prądem można by podgrzewać i jonizować gaz (ksenon lub pary cezu). Jony te byłyby przyspieszane w polu naładowanej elektrycznie płaszczyzny i kierowane do dyszy działka jonowego.

⁶⁰² Rakiet o napędzie jądrowym, mimo że ich impuls właściwy sięga 1000-2000 sekund, należą do najbardziej niestabilnych i niebezpiecznych rozwiązań. Rząd USA popierał i finansował badania nad nimi przez kilkadziesiąt lat, często w zupełnej tajemnicy. Reaktor atomowy, którego energia służyłaby podgrzaniu gazów wyrzucanych z dyszy silnika odrzutowego, generowałby olbrzymią moc, ale także powodowałby ogromne skażenie środowiska. Mógłby również eksplodować w katastrofie podobnej do tej, jaka spotkała *Challenger*. Opadające po takim wypadku szczątki rakiety o napędzie atomowym unicestwiłyby wszelkie życie na wielkich obszarach.

Nad ostatnią z rakiet o napędzie jądrowym, *Timberwind*, Amerykanie pracowali w zupełnej tajemnicy w ramach programu Wojen Gwiazdnych do czasu, kiedy informacja o tym ujrzała światło dzienne za sprawą Federacji Naukowców Amerykańskich. W tej nieprzyjemnej sytuacji prezydent Clinton podjął decyzję o zaprzestaniu tego rodzaju badań.

⁶⁰³ Działo wystrzeliwujące raketę z szyn wynosi ładunki na orbitę, rozpędzając je do prędkości tysięcy kilometrów na godzinę dzięki zjawisku indukcji elektromagnetycznej. Urządzenie to przywodzi na myśl powieść Juliusza Verne'a *Dookoła Księżyc*. Jednakże pomysł Verne'a z gigantyczną armatą wystrzeliwującą raketę pozostaje w sprzeczności z kilkoma prawami fizyki.

Po pierwsze, prędkość osiągalna dzięki eksplozji spowodowanej reakcją chemiczną nie może wynosić 40 tysięcy kilometrów na godzinę, co jest wartością prędkości ucieczki z pola grawitacyjnego Ziemi. Fala uderzeniowa wytwarzana przez wybuch substancji chemicznych ma prędkość równą z grubsza prędkości dźwięku (około 1100 km/h), a to jest wartość dalece niewystarczająca, by opuścić pole ciężenia ziemskiego.

Po drugie, przeciążenie wywołane wskutek niemal momentalnego przyspieszenia podczas wystrzału spowodowałoby zmiążdżenie pasażerów.

Silnik jonowy jest prawie całkowitym przeciwieństwem rakiety *Saturn*, której użyto podczas wyprawy na Księżyc. Silniki odrzutowe tej rakiety wytwarzają siłę ciągu niemal 200 milionów niutonów, lecz tylko przez krótki czas. Silnik jonowy, przeciwnie, wyrzuca ciekłą stróżkę jonów, wytwarzając niewielki ciąg, ale siła tego ciągu może utrzymywać się w nieskończoność.

Te dwa rodzaje napędu można porównać do zajęcia i żółwia. Silnik rakiety o napędzie chemicznym pozwala na wykonanie zajęczego susa, dzięki czemu opuszcza się szybko pole grawitacyjne Ziemi, ale jednocześnie silnik ten zużywa paliwo tak gwałtownie, że może pracować zaledwie parę minut. Silnik jonowy przypomina powoli wędrującego żółwia; na długich dystansach może wytwarzać niewielkie, ale trwające lata przyspieszenie.

Fizyka podpowiada nam, że istotną wielkością nie jest sama siła ciągu, ale tzw. impuls właściwy, czyli iloczyn siły ciągu i czasu jej działania. To, co traci się na wartości siły ciągu, można odzyskać, zwiększając czas jej działania. Rakieta o napędzie chemicznym może osiągnąć impuls właściwy około 500 sekund, podczas gdy silnik jonowy - nawet 10 tysięcy sekund, a maksymalna wartość w tym przypadku wynosi 400 tysięcy sekund. (Przyjęto, że jednostką impulsu właściwego jest sekunda).⁶⁰⁵

W pojazdach przeznaczonych do lotów międzyplanetarnych zastosujemy kombinację napędów. Rakieta na paliwo chemiczne potrzebna będzie do pokonania ziemskiej siły ciężenia, ale po wyniesieniu statku na orbitę okołozemską włączone zostaną silniki jonowe. Powoli, lecz stale będą go one przyspieszać do wielkich prędkości, pozwalających na dotarcie do planet zewnętrznych, a nawet poza ich orbity.

Silnik jonowy, rozpędzający raketę przez dłuższy czas, jest idealnym rozwiązaniem dla pojazdów poruszających się w Układzie Słonecznym. Czas trwania podróży nie jest wtedy najistotniejszy. Nietrudno sobie wyobrazić wysyłanie na inne planety wyposażonych w ten silnik dużych statków transportowych. Może się to stać zaczątkiem sieci kosmicznych autostrad.

"Zbudowanie flotyli różnych statków kosmicznych o napędzie słoneczno-elektrycznym sprawiłoby, że cały Układ Słoneczny stałby się równie dostępny - i w celach komercyjnych, i badawczych - jak Ziemia w epoce parowców" - twierdzi Freeman Dyson.⁶⁰⁶

W Centrum Badawczym Lewisa w Cleveland prowadzi się obecnie testy nad napędzanym silnikiem jonowym pojazdem *Kuiper Express*, przeznaczonym do badania komet poza orbitą Neptuna, w obszarze zwanym pasem Kuipera. W zasilanym bateriami słonecznymi silniku jonowym *Kuiper Express* atomy ksenonu ulegają jonizacji. Jony ksenonu są następnie przyspieszane pomiędzy elektrodami i kierowane do dyszy działa jonowego. Baterie słoneczne tego pojazdu tworzą dwa wielkie panele i mogą korzystać ze światła słonecznego nawet w odległej przestrzeni, poza orbitą Plutona, gdzie Słońce jest niewiele jaśniejsze od pobliskich gwiazd.

⁶⁰⁴ Freeman J. Dyson: Statki kosmiczne XXI wieku, "Świat Nauki", listopad 1995, s. 84.

⁶⁰⁵ Impuls właściwy (lub impuls jednostkowy) jest iloczynem siły ciągu i czasu jej działania podzielonym przez ciężar paliwa. Jednostką tej wielkości jest zatem sekunda, ponieważ w wyrażeniu tym skracają się jednostki siły. Eugene Mallove, Gregory Matloff: *The Starlight Handbook*. JohnWiley, Nowy Jork 1989, s. 44.

⁶⁰⁶ Freeman J. Dyson: Statki kosmiczne XXI wieku, "Świat Nauki", listopad 1995, s. 85.

Planety wokół innych słońc

W późniejszych latach XXI wieku zainteresowanie poszukiwaniem układów planetarnych wokół niedalekich gwiazd będzie wzrastać. W 1997 roku wielkie poruszenie wśród uczonych wywołało odkrycie trzynastu planet krążących wokół gwiazd w konstelacjach Panny, Wielkiej Niedźwiedzicy i Pegaza.⁶⁰⁷ Niestety, planety te są najprawdopodobniej niezamieszkanymi, olbrzymimi globami podobnymi do Jowisza.

Ale po 2020 roku instrumenty badawcze powinny stać się na tyle czułe, iż możliwe będzie odkrycie planet wielkości Ziemi krążących dookoła pobliskich gwiazd. Uczonym dałoby to asumpt do zmierzenia się z problemem dotarcia do gwiazd. "Świętym Graalem w tej dziedzinie jest poszukiwanie planety, na której mogłoby istnieć życie" - mówi Alan P. Boss, astronom z Instytutu Carnegie w Waszyngtonie.

Podobnie jak motywem eksploracji przestrzeni kosmicznej w pierwszych latach XXI wieku będzie możliwość odkrycia życia na Marsie, tak pod koniec tego wieku siłą napędową stanie się perspektywa znalezienia planet podobnych do Ziemi poza naszym Układem Słonecznym.

Na podstawie odkrytych przez Newtona praw rządzących ruchem wiemy, że Słońce wiruje, lekko się kołyszac z powodu obecności wokół niego olbrzymich planet, takich jak Jowisz i Saturn. Podobnie dzieje się w przypadku innych gwiazd. Wielkie planety "szarpia" gwiazdą, zatem jej położenie trochę oscyluje. Ponieważ planety nie świecą, teleskopy mogą wychwycić jedynie lekkie chwanie się gwiazdy -jeśli krąży wokół niej masywna planeta.

Stosując te metody, astronomowie odkryli planetę krążącą dookoła gwiazdy 47 Ursae Majoris(w gwiazdozbiornie Wielkiej Niedźwiedzicy), 320 bilionów kilometrów od Ziemi. Planeta jest dwukrotnie większa od Jowisza. Inna planeta, sześć razy większa niż Jowisz, okrąży gwiazdę 70 Virginis w konstelacji Panny. Większość tych planet znajduje się w odległości 20-40 lat świetlnych, prawdopodobnie za daleko, aby mogły do nich dotrzeć ziemskie sondy nawet w XXI wieku. Jednakże w czerwcu 1996 roku astronomowie z Uniwersytetu w Pittsburgu odkryli względnie blisko położoną planetę. Znajdująca się w odległości jedynie 8,1 roku świetlnego planeta wielkości Jowisza krąży dokoła małej, czerwonej gwiazdy, czwartej w kolejności od Słońca, nazywanej Lalande 21185.⁶⁰⁸ Badacze ci wykryli również obecność dwu mniejszych planet w tym systemie planetarnym.

Mimo że nie udało się znaleźć planety podobnej do Ziemi, sam fakt bliskości oraz podobieństwa tego systemu do Układu Słonecznego jest zachętą do budowania w XXI wieku rakiet zdolnych pokonywać odległości mierzone w latach świetlnych. "Fantastyczne. To jest to, na co czekaliśmy" - skwitował bliskość i podobieństwo tego systemu do Układu Słonecznego Alan Boss.⁶⁰⁹

Niestety, wszystkie te planety mają rozmiary większe od Jowisza. Wydaje się więc, że są to kule gazowe, składające się głównie z wodoru. Zatem szanse na znalezienie żywych form opartych na

⁶⁰⁷ Niedawno inna grupa badawcza zakwestionowała istnienie jednej z takich planet, towarzyszącej odległej gwiazdzie. Chociaż nie wiadomo, ile dotychczas odkrytych planet przetrwa falę podobnej krytyki, i tak zostaną wkrótce odkryte tysiące nowych planet.

⁶⁰⁸ "New York Times", 12 czerwca 1996, s. A24.

węgłu, a więc organizmów podobnych do nas, są niezwykle małe. Na razie ograniczenia techniczne nie pozwalają na odkrycie planet o rozmiarach dużo mniejszych od Jowisza.

Czy istnieje planeta podobna do Ziemi?

Nowy typ przyrządów służących do obserwacji astronomicznych być może pozwoli na odkrycie w ciągu następnych dziesięciu lat wielu planet o rozmiarach Ziemi, na których istniałyby warunki do przetrwania życia w takiej formie, jaką znamy. Zapoczątkowałoby to nową erę w astronomii i mogłoby zmienić nasz pogląd na istnienie życia we Wszechświecie. Być może warunki potrzebne do pojawienia się form żywych nie są tak restrykcyjne, jak nam się wydaje.

Nowy typ teleskopów wykorzystuje zjawisko interferencji światła. Dotychczas głównym ograniczeniem konstrukcji teleskopów była średnica zwierciadła. Teleskop jest rodzajem "wiaderka na światło" - jego rozdzielczość jest tym większa, im więcej światła wpadnie do niego w ciągu nocy. W końcu docieramy jednak do granicy technicznych możliwości. Cud sztuki inżynierskiej stanowił w swoim czasie teleskop na Mount Palomar, mający lustro o średnicy 5 metrów. Przez sześćdziesiąt lat był to największy teleskop świata. Nowoczesne instrumenty, takie jak bliźniacze teleskopy Kecka (Hawaje), są większe od przyrządu na Mount Palomar. Zastosowano w nich zupełnie nowe rozwiązania konstrukcyjne, na przykład osobną regulację położenia różnych części zwierciadła. Astronomowie powoli jednak zbliżają się do granicy możliwości obserwacyjnych, jakie oferują im wielkie czasze zwierciadeł ze szkła.

Aby zwiększyć rozdzielczość teleskopów nowego typu, wykorzystano zjawisko interferencji fal świetlnych. Dzięki wielkiemu postępowi w precyzji budowania instrumentów i ich oprzyrządowania, możliwe jest złożenie sygnałów świetlnych pochodzących z dwu różnych, odległych teleskopów. (Przesyłając sygnały świetlne zarejestrowane przez dwa odległe detektory do punktu leżącego dokładnie pośrodku odległości między nimi i składając te fale, można otrzymać obraz interferencyjny. Jego dokładna analiza pozwala odtworzyć obraz, jaki by się otrzymało, gdyby średnica zwierciadła była równa odległości między teleskopami. Tak więc, zamiast budować lustro o średnicy wielu kilometrów, co jest fizycznie niewykonalne, można użyć dwu mniejszych, odległych teleskopów, które symulują jeden olbrzymi instrument).

Poszukiwania przyspieszy również użycie satelitów. Na 2001 rok NASA planuje wystrzelenie *Keplera*, satelity wyposażonego w tak dokładną aparaturę, że za jej pomocą zaobserwujemy, jak się szacuje, 2400 nowych planet. Ocenia się, że 100 spośród nich będzie podobnych do Ziemi. Przed rokiem 2007 na orbicie okołozemskiej pojawią się ponadto nowe satelity podobne do *Keplera*, wysłane w ramach dwóch projektów: misja interferometrii kosmicznej oraz poszukiwanie planet podobnych do Ziemi. Aparatura zainstalowana na pokładzie tych satelitów będzie działała niezwykle precyzyjnie. Gdyby użyto jej na Ziemi, można by zauważyć, jak astronauta stojący na Księżycu przekłada latarkę z ręki do ręki.

Na planetach podobnych do Ziemi powinna się znajdować najcenniejsza we Wszechświecie

⁶⁰⁹ "Washington Post", 12 czerwca 1996, s. A3.

substancją: woda, uniwersalny rozpuszczalnik. Zgodnie z naszą obecną wiedzą, jedynie woda rozpuszcza złożone, oparte na węglu cząsteczki, dzięki czemu mogą one wchodzić w reakcje, podczas których powstają "kamienie węgielne" życia: białka i kwasy nukleinowe.

Stworzyć raj w kosmosie

Po 2020 roku, kiedy loty międzyplanetarne staną się czymś zwyczajnym, uczeni zaczną myśleć o zasiedlaniu kosmosu. Większość takich rozważań będzie jednak miała charakter czysto hipotetyczny. Choć obniży się koszt wysyłania ładunków w przestrzeń kosmiczną, wyekspediowanie dużych ilości materiałów potrzebnych do założenia kolonii w kosmosie ciągle będzie połączone ze zbyt wielkimi wydatkami. Ponadto, nieprzyjazne warunki tam panujące, ustawiczne zagrożenie promieniowaniem kosmicznym, wiatr słoneczny, stada małych meteoroidów i niezwykle niskie temperatury sprawią, że stworzenie warunków pozwalających na przeżycie będzie nadzwyczaj drogie.

Wszystko to jednak nie powstrzyma marzycieli od stawiania naukowo uzasadnionych hipotez na temat kosztów zbudowania kolonii pozaziemskich, na przykład założenia bazy na Księżycu lub terraformowania innej planety (czyli zmiany jej klimatu tak, by przypominał klimat Ziemi) i zamieszkania na niej. Konstanty Ciołkowski, rosyjski wizjoner, powiedział kiedyś: "Ziemia zawsze pozostanie kolebką ludzkości, ale ludzkość nie może żyć wiecznie w kolebce".

Dawne pomysły budowy bazy na Księżycu odżyły w 1996 roku. Odkryto wówczas, że w południowej części Srebrnego Globu, w okolicach podbiegunowych, znajduje się lód. Poprzednio naukowcy przekonywali, że parzące promienie Słońca, bez przerwy bombardujące powierzchnię Księżyca, musiały spowodować odparowanie lodu. Jednakże sonda *Clementine* wykryła lód w kraterze pozostającym w wiecznym cieniu. Fakt ten stwarza możliwość zbudowania na Księżycu bazy, a także użycia lodu - po rozłożeniu go na wodór i tlen - jako paliwa do silników rakietowych.

Innym wyzwaniem jest przekształcenie Marsa lub Wenus, naszych najbliższych sąsiadów w przestrzeni kosmicznej, tak aby przypominały Ziemię. Wziąwszy pod uwagę, że warunki atmosferyczne panujące na tych planetach są wyjątkowo nieprzyjazne, zadanie wydaje się niewykonalne. Uczeni, którzy kiedyś poważnie rozważali możliwość terraformowania Wenus, skapitulowali. Temperatury na powierzchni tej planety dochodzą do 500°C (to więcej niż we wnętrzu pieca piekarniczego), ponieważ bogata w dwutlenek węgla atmosfera zatrzymuje potężne ilości ciepła dostarczanego przez Słońce. Przypomina to niezwykle spotęgowany efekt szklarniowy. Ponadto każdy statek kosmiczny, usiłujący wylądować na Wenus, ryzykuje, że zostanie zgnieciony jak skorupka jajka. Gęstość bowiem atmosfery tej planety jest 90 razy większa od gęstości atmosfery ziemskiej. Dodatkowym zagrożeniem są duże ilości żrącego kwasu siarkowego zawartego w wenusjańskich chmurach. "Wszelkie propozycje zmiany warunków klimatycznych na Wenus są niebezpieczne, nieeleganckie i nie liczą się z kosztami" - doszedł do wniosku Carl Sagan.

Na Marsie panują nieco lepsze warunki. Widzowie w kinach mieli przedsmak prób

terraformowania tej planety podczas projekcji filmu *Pamięć absolutna*. W jednej ze scen Arnold Schwarzenegger zostaje wyrzucony na marsjańską pustynię bez skafandra kosmicznego. Gdy jego krew ma już wytrysnąć, a ciało ulec rozerwaniu, uruchamia się zainstalowane przez dawnych przybyszów urządzenie, stwarzające warunki podobne do ziemskich, i olbrzymie ilości wody wypływają spod zmarzniętej powierzchni. W ten sposób odtworzone zostają dawne oceany tej planety.

W rzeczywistości zadanie przywrócenia obecności wody na Marsie wygląda nader zniechęcająco. Nie da się tego zrobić w ciągu następnych stu lat.

Niektórzy badacze rozważali możliwość zrekonstruowania marsjańskich mórz i oceanów. Planowali, aby wykorzystać do tego celu komety, które są gigantycznymi górami lodowymi przemierzającymi kosmos. W 1986 roku w kierunku komety Halleya wysłano sondę, której zadaniem było sfotografowanie tego obiektu z niewielkiej odległości. W XXII wieku ludzkość powinna już nauczyć się lądować na kometach. Ponieważ w Układzie Słonecznym, w pasie Kuipera, krąży około 200 milionów komet, uczeni zastanawiali się nad umieszczeniem na niektórych z nich silników rakietowych, które delikatnie zmieniałyby trajektorię lotu tych kosmicznych wędrowców.⁶¹⁰ Zmodyfikowany w ten sposób, daleko w przestrzeni, tor komety mógłby się po latach przeciąć z orbitą Marsa, co doprowadziłoby do zderzenia z planetą. Kometa, spalając się, a raczej odparowując w rzadkiej atmosferze Marsa, mogłaby dać początek wielkim chmurom pary wodnej, a w efekcie silnym deszczom i burzom na całej planecie.

W celu podniesienia temperatury na Marsie uczeni rozważali możliwość wytworzenia efektu szklarniowego. W atmosferze Marsa rozpylono by niewielkie ilości chlorofluorowęglowodorów, CFC (tych samych związków, które powodują elekt cieplarniany na Ziemi i w związku z tym ich użycie jest niedozwolone) oraz amoniaku. Chlorki można wydobywać ze znajdujących się na planecie pokładów soli powstałych po wyschnięciu mórz i oceanów.

Wysyłanie z Ziemi potrzebnej ilości gazów szklarniowych byłoby nieprawdopodobnie kosztowne i wymagało całych wieków podróży międzyplanetarnych. Lepszym pomysłem jest stworzenie na Marsie za 100, a może 200 lat, stacji robotów, które obsługiwałyby zakłady chemiczne produkujące wyżej wymienione związki z substancji wydobywanych z gruntu oraz z gazów atmosferycznych. Roboty przekopywałyby powierzchnię Marsa i produkowały w zbudowanych przez siebie dużych fabrykach chemicznych potrzebne ilości gazów szklarniowych.

W miarę nasilania się efektu szklarniowego, temperatury zaczęłyby rosnać, powodując topnienie płytko leżących wiecznych zmarzlin oraz czap lodowych w podbiegunowych okolicach Marsa. Dzięki temu powinny się pojawić spore ilości wody. Proces ten, jeśli w ogóle możliwy, byłby nadzwyczaj powolny i trzeba by następnych 100 lat, zanim wartości temperatury i ciśnienia zbliżyłyby się do ziemskich.

Mars to jedyna planeta Układu Słonecznego, której terraformowanie można brać pod uwagę. Merkury jest zbyt gorący i niegościnnie. Jowisz i inne gazowe giganty składają się głównie z

⁶¹⁰ "Discover", listopad 1995, s. 83.

wodoru, a poza tym są odległe i zimne. Jeden z księżyców Saturna, Tytan, ma atmosferę składającą się z azotu i metanu, ale jest na nim tak zimno, iż można sobie wyobrazić jedynie wysłanie tam robotów.

Astronom John Lewis sądzi jednak, że odpowiednie dla kolonizatorów kosmosu środowisko można by znaleźć w pasie planetoid.⁶¹¹ Wierzy on, że niektóre planetoidy dałoby się wydrążyć, zapewniając schronienie nawet milionom osiedleńców. (Mieszkańcy wnętrza planetoidy nie byłiby narażeni na promieniowanie kosmiczne, wiatr słoneczny i deszcz meteoratów). Prawdopodobnie mogliby oni wydobywać minerały do budowy miast i fabryk. Planetoidy powinny również zawierać pewne ilości helu. Jego istnienie umożliwiłoby kolonistom zbudowanie instalacji do fuzji termojądrowej i zapewniłoby im źródło energii.

Według Lewisa kolonizacja przestrzeni kosmicznej będzie miała niewiele wspólnego z niezwykłą, romantyczną przygodą. Sądzi on, że wcześniej czy później populacja nazbyt się rozrośnie, a zasoby wyczerpią i ludzie będą zmuszeni opuścić Ziemię. Przetrwanie gatunku możliwe będzie tylko dzięki wkopaniu się w Księżyc, pod powierzchnię planet czy planetoid.

Jeśli się okaże, że Marsa nie można terraformować, nie da się zbudować bazy na Księżycu lub wydrążyć jakiejś planeto-idy, to w którymś momencie odległej przyszłości będziemy musieli opuścić Układ Słoneczny w poszukiwaniu innej planety nadającej się do zamieszkania. Ponieważ niewątpliwie uda się odkryć podobne do Ziemi planety poza naszym systemem planetarnym, coraz częściej będą się podnosiły głosy uczonych wzywających do podjęcia prób wysłania sond w kierunku najbliższych gwiazd.

Druąa połowa XXI wieku: budowa statku międzygwiazdowego

Znamy prawa fizyki, które umożliwiają eksplorację Układu Słonecznego. Główną niewiadomą stanowi polityka. Impuls właściwy dla rakiety udającej się w podróż międzyplanetarną, tylko kilka tysięcy sekund, znajduje się w zasięgu możliwości silnika jonowego.

Natomiast zagadnienia związane z podróżami międzygwiazdowymi nie tylko wykraczają poza ramy znanych praw fizycznych, lecz także dotyczą problemu ograniczonych zasobów naszej planety. W kwestiach tych zaproponowano już jednak kilka rozwiązań. Każde z nich ma swoje zalety i wady. Prawa fizyki rządzące lotami międzygwiazdowymi są powszechnie znane, ale równie powszechnie wiadomo, jak trudno zbudować pojazd kosmiczny, który byłby ekonomiczny i mógłby osiągnąć prędkość umożliwiającą dotarcie do gwiazd.

Istnieją dwa rodzaje podstawowych przeszkód związanych z budową statku do podróży międzygwiazdowych. Pierwszym z nich jest niewyobrażalnie duża odległość do którejkolwiek z gwiazd. Choć promień światła poruszający się z oszałamiającą prędkością 300 tysięcy kilometrów na sekundę potrzebuje mniej więcej dnia, żeby dotrzeć na krańce Układu Słonecznego, trzeba aż czterech lat, aby osiągnąć położoną najbliżej nas gwiazdę, a Centauri, i około 100 lat, by dotarł do wielu gwiazd, które widzimy na nocnym niebie. Statkowi kosmicznemu, poruszającemu się z

⁶¹¹ Wywiad z Johnem Lewisem.

prędkością równą niewielkiemu ułamkowi prędkości światła, osiągnięcie najbliższych gwiazd zajmie całe wieki. Drugi rodzaj przeszkód wiąże się z teorią Einsteina. Zgodnie z nią nic nie może się poruszać szybciej niż światło.⁶¹²

Impuls właściwy potrzebny do uzyskania prędkości pod-światłowej wynosi 30 milionów sekund. Osiągnięcie tej wartości wielokrotnie przekracza możliwości wszelkich napędów raketowych, o których wspominaliśmy. A mimo to niektórzy odważają się projektować urządzenia przeznaczone do podróży międzygwiazdnych. Listę tych statków rozpoczynają różnego rodzaju wehikuły wykorzystujące fuzję termojądrową. Zwykłe pojazdy tego typu (przeskalowane do dużych rozmiarów prototypy znanych rozwiązań) mają impuls właściwy od 2500 do 400 tysięcy sekund. Wartość ta jest ciągle zbyt mała. Dopiero impuls rzędu miliona sekund pozwoliłby na osiągnięcie prędkości będącej już sporym ułamkiem prędkości światła.

Najciekawszą konstrukcją wykorzystującą fuzję termojądrową jest silnik nazywany *ramjet*, "ssący odrzutowiec", czyli silnik strumieniowy, który mknie przez kosmos niemal z prędkością światła. Paliwo do fuzji, którym jest wodór, zasysa on z przestrzeni kosmicznej. Zwykłe odrzutowce pobierają w ten sposób powietrze potrzebne do spalania paliwa. *Ramjet* może być względnie lekki, ponieważ nie niesie ze sobą paliwa do napędu, lecz korzysta z zasobów otoczenia.

Konstrukcja przypomina kształtem wielki lej (nazywany czerpakiem strumieniowym, *ram scoop*), który wsysa cząsteczki wodoru ze znajdującej się przed nim przestrzeni. Rozwiązanie to zaproponował w 1960 roku Robert Bussard. Wyliczył on, że pojazd o masie 1000 ton mógłby w sposób nieograniczony nabierać prędkości z przyspieszeniem $1g$ (tzn. około 10 m/s^2). Oznacza to jednocześnie, iż ludzie znajdujący się na pokładzie takiego statku kosmicznego, w warunkach sztucznej grawitacji, byłiby przyciskani do podłogi siłą podobną do tej, która trzyma ich na powierzchni Ziemi. Bussard oszacował, że stopniowe rozpędzanie się pojazdu do prędkości podświetlonej zajmie rok.

Podróżując wygodnie z przyspieszeniem $1g$, w warunkach zbliżonych do ziemskich, załoga statku powinna dotrzeć do najbliższej gwiazdy w ciągu 5 lat. Jednakże zgodnie z Einsteińską szczególną teorią względności, upływ czasu na pokładzie szybko poruszającej się rakiety ulega spowolnieniu. Pojazd doleciałby do Plejad (M45), gromady gwiazd odległej od nas o 400 lat świetlnych, w ciągu 11 lat (tyle przynajmniej wskazałyby zegary na pokładzie statku). Po 25 latach czasu pokładowego podróżnicy mogliby zawitać nawet do Wielkiej Galaktyki w Andromedzie.⁶¹³ Na

⁶¹² Dokładniej, w lokalnym (zwanym inercjalnym) układzie odniesienia żaden sygnał nie może być przesłany z prędkością większą niż prędkość światła. Znamy kilka zjawisk, w których prędkość światła zostaje przekroczona, ale albo nie można ich wykorzystać do przesyłania informacji, albo są one związane z globalnymi własnościami czasoprzestrzeni opisywanymi ogólną teorią względności Einsteina. Na przykład, w eksperymencie Einsteina-Podolskiego-Rosena prędkość fazowa fali oraz szybkość samego pomiaru mogą przekraczać wartość prędkości światła, ale nie można wykorzystać tego zjawiska do przesłania sygnałów. Podobnie, podczas Wielkiego Wybuchu Wszechświat rozszerzał się z prędkością większą niż prędkość światła, ale ogólna teoria względności nie przeczy temu w globalnym, nie lokalnym, układzie odniesienia. Zgodnie z tym, również istnienie tuneli czasoprzestrzennych może naruszać zasady szczególnej teorii względności, jako że tunele są związane z globalnymi, a nie lokalnymi własnościami geometrycznymi przestrzeni. Chociaż tunele czasoprzestrzenne mogą istnieć, to obecnie ich praktyczna realizacja jest niemożliwa: energia potrzebna do otwarcia wejścia do tunelu przekracza całkowitą produkcję energii na Ziemi.

⁶¹³ Obserwatorzy na Ziemi widzieliby takie statki kosmiczne podążające do gwiazd jako "zatrzymane w czasie", ze względu na skrócenie czasu przewidziane przez szczególną teorię względności.

Ziemi upłynęłyby jednak w tym czasie 2 miliony lat.

Wykorzystujący reakcję termojądrową *ramjet* mimo wszystkich swoich zalet nie jest rozwiązaniem idealnym. W silniku takiego pojazdu miałyby zachodzić fuzja protonów wychwytywanych z przestrzeni kosmicznej. Opanowanie procesu łączenia się protonów przedstawia o wiele większe trudności niż dokonanie fuzji w standardowej mieszaninie deuterowo-trytowej stosowanej w prototypowych urządzeniach termojądrowych na Ziemi. Poziom rozwoju tej techniki nie pozwala jeszcze wypowiedzieć się o mocy *ramjetu*, zwłaszcza w słabo poznanym przypadku fuzji proton-proton. Nie naruszając żadnego ze znanych praw fizyki, *ramjet* nastrocza jednak ogromnych problemów technicznych. Toteż wielokrotnie podejmowano próby wprowadzenia pewnych zmian w projekcie tego silnika.⁶¹⁴ W miarę upływu czasu, jeśli lepiej poznamy zjawisko fuzji termojądrowej, *ramjet* może stać się realnym rozwiązaniem.

Jądrowa rakieta impulsowa

Wydaje się, iż najdziwniejszym typem pojazdu międzygwiazdowego jest jądrowa rakieta impulsowa, w której do napędu wykorzystuje się serię detonacji bomb jądrowych. Pojazd byłby rozpędzany impulsami odrzutu odpalanych z tyłu rakiety minibomb wodorowych.

Podstawową zasadę działania takiego napędu podał w roku 1946 Stanisław Ulam pracujący w Los Alamos (ten sam, który brał udział w pracach nad projektem pierwszej bomby wodorowej oraz zaproponował komputeryzację analizy DNA). Ulam dowodził, że gdyby w pewnej odległości od miejsca wybuchu bomby użyć stalowego ekranu pokrytego grafitem, fala uderzeniowa nie zniszczyłaby go, lecz popchnęła z wielką siłą. Gdyby zaś z drugiej strony ekranu zamocowano amortyzatory pochłaniające energię odrzutu, siła eksplozji jądrowej rozpędziłaby całą konstrukcję.

Nie istniejąca jeszcze rakieta impulsowa przybrała kilka konkretnych form. Mowa tu o projektach *Orion* (1958-65) i *Daedalus* (1973-78). Maksymalny impuls właściwy otrzymywany w impulsowym silniku jądrowym wynosiłby około miliona sekund, co pozwoliłoby dotrzeć do najbliższych gwiazd w ciągu paru stuleci, a może nawet kilku dziesiątek lat. Według jednego z oszacowań, sonda *Daedalus*, wykorzystująca następujące kolejno po sobie minieksplozje, rozpędziłaby się do prędkości równej 12% prędkości światła. Podróż do gwiazdy Barnarda, odległej o 5,9 roku świetlnego od Ziemi, trwałaby 50 lat.

Istnieje wiele zastrzeżeń co do działania tego typu silnika raketowego. Intensywne promieniowanie rentgenowskie oraz fala ciepła mogłyby zagrażać życiu załogi i naruszyć konstrukcję pojazdu. Poza tym, ponieważ zachodzi konieczność precyzyjnej kontroli zjawisk fizycznych towarzyszących eksplozji termojądrowej, należałoby zdobyć gruntowną wiedzę w tym zakresie na podstawie wielu testów jądrowych. To, z kolei, wchodzi w konflikt z zamiarami podpisania układu o zaprzestaniu prób termojądrowych. Ponadto opanowanie tej technologii groziłoby wykorzystaniem jej do konstrukcji nowych rodzajów broni jądrowej. Mogłoby się także przyczynić do pogłębienia zagrożeń nuklearnych.

⁶¹⁴ Mallove, Matloff: *The Starflight Handbook*. John Wiley, Nowy Jork 1989, s. 112.

Ryzyko związane z pracami nad tak niebezpieczną technologią przekracza przypuszczalne korzyści. (Theodore Taylor, jeden z konstruktorów bomb jądrowych, który w latach sześćdziesiątych kierował projektem *Orion* w korporacji General Dynamics, obecnie wzywa do uchwalenia całkowitego zakazu użycia broni jądrowej).⁶¹⁵

Żagle i silniki fotonowe

Biorąc pod uwagę wykładnicze tempo rozwoju laserów przeznaczonych do rozmaitych celów, wydaje się, że możliwość użycia ich do napędu pojazdu międzygwiazdowego pod koniec XXI wieku nie wykracza poza ramy znanej fizyki. W projekcie nazwanym silnikiem fotonowym zaproponowano zastosowanie lasera ogromnej mocy. Ciśnienie światła wiązki laserowej rozpędzałoby pojazd kosmiczny. Rozważano kilka różnych rozwiązań konstrukcji pojazdów kosmicznych tego typu. W jednym z nich proponowano użycie na Ziemi lub Księżycu silnego lasera stacjonarnego, którego wiązka światła pchałaby żagiel słoneczny płynący przez przestrzeń kosmiczną. Problem związany z zastosowaniem żagli słonecznych wynika z małego natężenia promieniowania Słońca na obrzeżach naszego systemu planetarnego. W odległości równej promieniowi orbity Saturna czy Neptuna Słońce jest niewiele jaśniejsze niż zwykła gwiazda. Aby żagiel słoneczny, sunąc przez przestrzeń, mógł wciąż wychwytywać wystarczająco wiele energii słabnącego światła słonecznego, powinien być olbrzymi, o rozmiarach setek kilometrów. Kłopotliwe jest również manewrowanie takim pojazdem, na przykład w celu odbycia podróży powrotnej. Żaglówki mogą zmieniać kurs, płynąc po wodzie, ale żagiel słoneczny nie pozwala na taki manewr (chyba że udałoby się zastosować jakieś przemysłne urządzenie wykorzystujące pole magnetyczne istniejące w kosmosie). A co ważniejsze, żagiel słoneczny jest bardzo powolny. Minęłyby długie lata, zanim pojazd wyposażony w niego rozwinąłby stałą, dość dużą prędkość. A raz ją osiągnąwszy, miałby wielkie trudności z wyhamowaniem.

Wiele z tych problemów można by rozwiązać, jeśli stacjonarny laser, którego wiązka światła popychałaby żagiel, zostałby ustawiony na Księżycu.⁶¹⁶ Aby zawrócić, żagiel słoneczny okręzałby prędko docelową gwiazdę, a następnie, wykorzystując efekt katapulty, rozpędzałby się w drogę powrotną. (Oznacza to, że statek taki nie lądowałby na napotkanych planetach. Mógłby najwyżej wypuścić serię sond, aby zebrać o nich informacje).

Jednak największą przeszkodą do zastosowania napędów typu żagla fotonowego wykorzystujących promieniowanie Słońca lub lasera jest kwestia mocy. Według jednego z oszacowań moc lasera powinna być tysiąckrotnie większa od mocy laserów obecnie działających na Ziemi. A na dotarcie do gwiazd potrzeba setek lat, zbyt długo, by liczyć na "polityczną stabilność" wiązki laserowej!

W alternatywnym rozwiązaniu nieco mniejszy żagiel słoneczny mógłby być uzupełniony jakimś silnikiem typu *ramjet*.

⁶¹⁵ Wywiad z Theodore Taylorem.

⁶¹⁶ Wiązka światła laserowego nie rozbiega się tak szybko jak światło słoneczne, którego intensywność (i energia) maleje jak odwrotność kwadratu odległości od źródła. Ale i światło laserowe ulega dysypacji. Typowa wiązka światła lasera,

Taka kombinacja napędu laserowego i termojądrowego rozwiązałaby niektóre problemy związane z mocą, impulsem właściwym itp.

Istnieją ponadto propozycje wybiegające jeszcze dalej w przyszłość, takie jak użycie silników napędzanych antymaterią i napędu czasoprzestrzennego. Trzeba będzie poczekać na nie jeszcze całe wieki, jeśli w ogóle uda się je zbudować. Jak już wcześniej podkreślałem, silnik napędzany antymaterią jest zbyt drogi, aby można było myśleć o zastosowaniu go. Możliwość zbudowania silników czasoprzestrzennych omówię w rozdziale szesnastym.

Hibernacja

Większość przedstawionych projektów dotarcia do najbliższych gwiazd wymaga przede wszystkim czasu. Zatem pojazdy gwiazdne nie będą pilotowane przez człowieka, przynajmniej w fazie początkowej. Jeśli jednak poważnie myślimy o wysłaniu ludzi w kosmos, musimy zastanowić się nad możliwością przedłużania im życia, aby mogli dotrzeć do końca tych długich, wyczerpujących wypraw.

Zamrażanie ciał jest zabiegiem o wiele prostszym, niż mogłoby się wydawać na podstawie doniesień prasowych. I to pomimo tego, że kilku sławnych ludzi wyraziło gotowość do zamrożenia swoich zwłok w ciekłym azocie.

Problemem jest natomiast ożywienie zamrożonych istot. W komórkach zamrożonego ciała powstają bowiem kryształki lodu. Kryształy te rosną, aż w końcu rozrywają ściany komórkowe. U każdego, kto dał się zamrozić, pojawią się nieuchronnie uszkodzenia ważnych organów ciała. Dla tkanek groźny jest również proces topnienia. Jeśli temperatura wzrasta do punktu topnienia lodu, jego kryształki zaczynają się zlepiać. To zaś napręża, deformuje, a nawet rozrywa komórki.

Obecnie bardzo trudno utrzymać w stanie zamrożonym nerki lub wątrobę tak, by narządy te nie utraciły własności żywych tkanek przez czas dłuższy niż trzy dni, a płucoserce przez ponad pół dnia. Dłuższe przetrzymywanie zamrożonych części ludzkiego ciała, oprócz spermy i krwi, jest niemożliwe.

Niektórzy uczeni usiłowali zamrażać tkanki na tyle szybko, by nie powstały niebezpieczne kryształki lodu. Proces ten nazywa się witrifikacją. I chociaż metoda szybkiego schładzania istotnie opóźnia tworzenie się kryształków lodu, pojawiają się inne problemy. Lipidy, które znajdują się w ścianach komórkowych i zazwyczaj występują w stanie płynnym, zaczynają tworzyć żel (mniej więcej w taki sam sposób, jak żeluje się zimny tłuszcz zwierzęcy). W wyniku tego procesu ściana komórkowa traci szczelność i komórka dość szybko umiera, gdyż naruszona zostaje panująca w jej wnętrzu delikatna równowaga chemiczna.

Natura wszakże zaprojektowała kilka sprytnych mechanizmów pozwalających stworzeniom zimnokrwistym przetrwać ostrą zimę. Są ryby, na przykład, które mogą pływać w wodach arktycznych o temperaturze 0°C, oraz żaby, które zamarzają na kość, a jednak wiosną budzą się

do życia.⁶¹⁷

Dzięki niedawno przeprowadzonym badaniom poznano mechanizmy biologiczne kryjące się za tymi zjawiskami. W trakcie ewolucji ryby wytworzyły białka, które działają jak antyzamrażacze. Pozwalają im one przetrwać w wodach polarnych. Dzięki tym białkom mogą pływać nawet w wodzie o temperaturze -2°C . U żab rozwinął się podwójny mechanizm pozwalający im przeżyć zamrożenie w bloku lodu. Pierwszy z tych mechanizmów wiąże się z produkowaniem przez organizm związków chemicznych, takich jak glukoza, działających jak antyzamrażacze. Co jednak ważniejsze, żaby mają zdolność utrzymywania wysokiego poziomu glukozy wewnątrz komórek ciała.⁶¹⁸ Dzięki temu w komórkach nie powstają kryształki lodu, nawet jeśli żaba zamrznie na kość.

Wykorzystując znajomość tych zjawisk, uczonym udało się przedłużyć żywotność pewnych organów ciała ssaków o parę godzin, ale nie o kilka tygodni czy lat, czego wymagałby lot do gwiazd.

A zatem kontrolowana hibernacja jest jeszcze metodą zbyt słabo poznaną i na razie nie można jej zastosować.

Po roku 2100: nasze miejsce wśród gwiazd

Los ludzkości i tak ostatecznie wiedzie ku gwiazdom. I nie są to przewidywania jakichś nawiedzonych jasnowidzów. Takie są prawa mechaniki kwantowej. Fizyka mówi nam, że Ziemia musi w końcu umrzeć.

Kiedyś, w przyszłości, Ziemia nieuchronnie ulegnie zagładzie. Wtedy podróże kosmiczne mogą okazać się dla naszego gatunku jedynym ratunkiem. W odległej przyszłości będziemy mieli do wyboru: pozostać na swojej planecie i zginąć z nią lub ją opuścić, udając się ku gwiazdom.

Carl Sagan pisał kiedyś, że życie ludzkie jest zbyt cenne, by ograniczać je do jednej planety. Biorąc przykład z gatunków zwierzęcych, które rozprzestrzeniają się i migrują w odległe rejony, zwiększając tym samym szanse swojego przetrwania, ludzkość powinna ostatecznie zacząć poszukiwania innych światów. Choćby tylko z ciekawości. Droga do gwiazd jest naszym przeznaczeniem.

Górną granicą czasu istnienia Ziemi jest około 5 miliardów lat.⁶¹⁹ Po tym okresie Słońce przemieni się w czerwonego olbrzyma. Jego atmosfera spuchnie niewyobrażalnie i sięgnie orbity Marsa. Na Ziemi oceany zaczną się gotować, góry - topić, a niebo ogarnie płomień i w końcu cała planeta zostanie spalona na żużel.

Poeci od dawna zastanawiali się, czy Ziemia zginie od ognia, czy zastygnie w lodach. Prawa mechaniki kwantowej udzielają na to pytanie odpowiedzi: Ziemia padnie pastwą płomieni. Zanim się to jednak stanie, ludzkości mogą zagrozić inne katastrofy: uderzenia w Ziemię obiektów z

⁶¹⁷ "Discover", sierpień 1994, s. 39.

⁶¹⁸ *Ibidem*.

⁶¹⁹ Nasze Słońce - spalająca wodór, typowa, żółta gwiazda ciągu głównego - za mniej więcej 5 miliardów lat stanie się czerwonym olbrzymem. Atmosfera takiego czerwonego olbrzyma będzie rozciągała się aż do orbity Marsa, tak więc Ziemia wchłonięta w tę gorącą atmosferę prawdopodobnie wyparuje.

kosmosu, nowe epoki lodowcowe i wybuchy supernowych.

Katastrofy kosmiczne

Ziemia znajduje się w środku kosmicznej tarczy strzelniczej, pod ogniem tysięcy obiektów zwanych NEO (*Near Earth Objects*, czyli obiekty bliskie Ziemi), mogących zmieść życie z powierzchni planety. Niektórzy badacze z Laboratorium Napędu Odrzutowego w Caltech sądzą, że w przestrzeni czyha na Ziemię przynajmniej dwa tysiące nie zauważonych planetoid wielkości sporej góry.

Według szacunków NASA z 1991 roku, okołosłoneczną orbitę Ziemi przecina 1-4 tysiące planetoid o średnicy około kilometra. Zderzenie z takim obiektem może mieć fatalne skutki dla ludzkiej cywilizacji. Astronomowie z Uniwersytetu Arizony oceniają, że istnieje mniej więcej 500 tysięcy planetoid bliskich Ziemi o średnicy większej niż 100 metrów i 100 milionów odłamków o rozmiarach sięgających 10 metrów.⁶²⁰

Siła uderzeń planetoid w Ziemię każdego roku wynosi średnio 100 kiloton. (Na szczęście te odłamki skalne rozpadają się zazwyczaj w górnych warstwach atmosfery i niewiele z nich osiąga powierzchnię naszej planety).⁶²¹

W czerwcu 1996 roku doszło do bliskiego spotkania obiektu NEO z Ziemią. Tym razem planetoida 1996JA1, około pół-kilometrowej średnicy, przeleciała w odległości 450 tysięcy kilometrów, trochę większej niż odległość do Księżyca. Jeśli uderzyłaby w Ziemię, siła eksplozji byłaby równa około 10 tysięcy megaton (więcej niż siła wybuchu spowodowanego detonacją wszystkich zasobów broni jądrowej USA i Rosji).

Inna planetoida przeleciała w pobliżu Ziemi w 1993 roku. Z oboma obiektami wiąże się kilka niepokojących faktów. Po pierwsze, żadnego z nich nie zauważono wcześniej, pojawiły się jakby znikąd. Po drugie, zostały dostrzeżone nie przez finansowaną przez państwo organizację (gdyż takiej nie ma), lecz zupełnie przypadkowo. (Na 1996JA1 natknęło się dwóch studentów z Uniwersytetu Arizony).⁶²²

Planetoida o średnicy kilometra, zderzywszy się z Ziemią, spowodowałaby ogromne spustoszenie. Tom Gehrels, astronom z Uniwersytetu Arizony, szacuje, że wyzwoliłaby się wtedy energia równa energii miliona bomb, jakie zrzucano na Hiroszimę. Jeśli "uderzyłaby w zachodnie wybrzeże USA - dodaje Gehrels - wschodnie wybrzeże zapadłoby się na skutek potężnego trzęsienia ziemi, wszystkie drapacze chmur w Nowym Jorku runęłyby".⁶²³ Fala uderzeniowa spustoszyłaby całe Stany

Zjednoczone. Gdyby obiekt ten spadł do oceanu, powstałaby fala ponad kilometrowej wysokości. Zmiotłaby ona z powierzchni Ziemi większość położonych na wybrzeżach miast. Uderzenie w ląd spowodowałoby podniesienie się do atmosfery chmury pyłu i kurzu, która

⁶²⁰ Wywiad z Johnem Lewisem i Nealem Tysonem. John S. Lewis: *Mining the Sky*. Addison-Wesley, Reading, Mass. 1996, s.

⁶²¹ *Ibidem*,

⁶²² "Time", 3 czerwca 1996, s. 61.

⁶²³ "New York Times Magazine", 28 lipca 1996, s. 17.

przysłoniłaby Słońce, w wyniku czego temperatury na Ziemi znacznie by się obniżyły.

Ostatni olbrzymi wybuch wywołany przez meteoroid lub kometa miał miejsce 30 czerwca 1908 roku na Syberii, w dorzeczu rzeki Tunguska. Obiekt o rozmiarach około 50 metrów eksplodował tuż nad powierzchnią Ziemi, kosząc 2500 kilometrów kwadratowych lasu, jakby jakaś olbrzymia łapa z nieba przycisnęła drzewa do ziemi. Wstrząs spowodowany tym wybuchem zanotowano nawet w Londynie.

Około 15 tysięcy lat temu zbudowany z żelaza meteoroid wielkości mniej więcej dziesięciopiętrowego budynku uderzył w Ziemię na terenie dzisiejszego stanu Arizona, rzeźbiąc sławny krater Barringera - dziurę ponadkilometrowej średnicy.⁶²⁴

A 64,9 miliona lat temu (według metody datowania radioaktywnymi izotopami) olbrzymi obiekt (planetoida lub kometa) uderzył w półwysep Jukatan (Meksyk). Prawdopodobnie stało się to przyczyną wyginięcia dinozaurów. Uważa się, że był to największy obiekt kosmiczny, jaki zderzył się z naszą planetą w ciągu ostatniego miliarda lat.

A zatem spotkanie Ziemi w przyszłości z jakimś planetoida lub kometa jest nieuchronne. Przyjmując, że orbitę Ziemi przecinają tory około 400 planetoid o średnicy większej niż kilometr i posługując się równaniami praw ruchu Newtona, dochodzimy do wniosku, że któryś z tych obiektów bez wątpienia kiedyś zderzy się z naszą planetą. Na podstawie dotychczasowych badań możemy w przybliżeniu określić czas, w którym pojawią się kolejne katastrofy.

W ciągu następnych 300 lat możemy się spodziewać eksplozji podobnej do wybuchu tunguskiego. W wyniku takiej katastrofy może zostać zmiecione z powierzchni Ziemi duże miasto. W skali tysięcy lat nastąpi prawdopodobnie kolizja podobna do tej, która była przyczyną powstania krateru Barringera. W ten sposób może zniknąć na przykład cały stan. A za miliony lat można się spodziewać zderzenia z obiektem, który zagrozi istnieniu ludzkości.

Niestety, obiekty typu NEO mają wysoki współczynnik nieobliczalności. Toteż NASA przeznaczając rocznie zaledwie milion dolarów na procedury identyfikacji tych potencjalnych zagrożeń. Większość obserwacji obiektów tego typu zawdzięczamy garstce miłośników astronomii.⁶²⁵

Skończymy w ogniu i lodzie

Najprawdopodobniej przed upływem kolejnych 10 tysięcy lat nadejdzie nowa epoka lodowcowa. Poprzednia spowodowała przypuszczalnie wyodrębnienie się różnych ras gatunku *Homo sapiens* około 100 tysięcy lat temu. Krótki okres ocieplenia, który zaczął się 10 tysięcy lat temu, przyczynił się do powstania cywilizacji. Jednakże rozwój cywilizacyjny może zostać zatrzymany przez nagłe zakończenie tego krótkiego ocieplenia. Olbrzymie połacie Ameryki Północnej znowu znalazłyby się pod czapą lodu o ponadkilometrowej grubości, tak jak to było podczas ostatniego zlodowacenia.

⁶²⁴ *Ibidem*, s. 114-115.

⁶²⁵ Niektórzy doradzają użycie bomb wodorowych w celu zniszczenia nadlatujących z przestrzeni kosmicznej obiektów grożących zderzeniem z Ziemią. Nie jest to dobry pomysł. Fragmenty rozerwanego na kawałki NEO mogłyby stanowić dla Ziemi jeszcze większe zagrożenie niż sam obiekt. Zakładając, że odpowiednio wcześniej dowiemy się o zbliżającej się katastrofie, prawdopodobnie lepiej jest próbować zapobiec jej wtedy, gdy obiekt znajduje się jeszcze wystarczająco daleko. Można tego dokonać, zmieniając nieznacznie parametry trajektorii takiej planetoidy lub komety.

Nikt nie wie, niestety, co wywołuje kolejne epoki lodowcowe. Najbardziej rozpowszechniona teoria głosi, że są one związane z niewielkimi odchyleniami osi obrotu Ziemi.

Jeśli nie umrzemy z zimna, to skończymy w ogniu. Wybuch jakiejś supernowej w odległości paru lat świetlnych od Ziemi skąpie całą planetę w śmiertelnym deszczu promieniowania rentgenowskiego, zabijając wszystko, co żyje na jej powierzchni. Wybuchy supernowych zdarzają się w naszej Galaktyce mniej więcej co 500 lat. Analizując wybuch supernowej z 1987 roku, fizycy potwierdzili teorie dotyczące produkcji energii w tego typu starzejących się gwiazdach, w których nagłe zatrzymanie reakcji termojądrowych powoduje potężny kolaps grawitacyjny. Na szczęście wiemy wystarczająco dużo, aby rozpoznać wiele sygnałów ostrzegawczych, zapowiadających wybuch supernowej.

Jeśli jednak odbierzemy sygnał będący zapowiedzią katastrofy, co zmusi nas do opuszczenia Układu Słonecznego, to gdzie się wówczas podziejemy?

Przybysze z kosmosu

Frank Drake, astronom z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Santa Cruz, jako pierwszy przeprowadził szacunkowe obliczenia dotyczące liczby planet w naszej Galaktyce, na których mogłoby istnieć inteligentne życie. W skład Drogi Mlecznej wchodzi około 200 miliardów gwiazd. Czyniąc rozsądne założenia (dotyczące liczby gwiazd podobnych do naszej, liczby gwiazd otaczanych przez systemy planetarne, liczby planet podobnych do Ziemi, liczby planet typu ziemskiego, na których *możliwe* byłoby życie itp.), Drake doszedł do wniosku, że tylko w naszej Galaktyce istnieje prawdopodobnie około 10 tysięcy planet, na których mogłyby się rozwinąć inteligentne formy życia.

Toteż większość uczonych wierzy, że Wszechświat jest pełen inteligentnych istot. Różnice zdań dotyczą tego, czy składały już one wizyty na Ziemi.

Podczas drugiej wojny światowej naukowców pracujących nad projektem Manhattan dręczyły nie tylko obawy dotyczące ekspansji Niemiec w Europie. Podczas obiadów prowadzili oni także dyskusje na temat losów Wszechświata. Pewnego razu rozmowa zeszła na temat przybyszów z kosmosu. Enrico Fermi, laureat Nagrody Nobla z fizyki, człowiek zainteresowany również tą problematyką, przerwał wówczas konwersację i zapytał: "Ale gdzie oni są?".

Pytanie Fermiego nie daje nam spokoju do dzisiaj. Sądzę, podobnie jak wielu innych naukowców, że w kosmosie istnieje inteligentne życie. Byłoby zwykłą arogancją uważać, że nasza planeta jest jedyną wśród miliardów innych, na której żyją inteligentne istoty. A jednak nawet powołanie specjalnego projektu o nazwie SETI [*Search for Extraterrestrial Intelligence*, czyli poszukiwanie inteligencji pozaziemskiej] nie doprowadziło do wykrycia najmniejszych jej śladów.⁶²⁶

Astronomowie zbadali możliwe źródła emisji fal radiowych i telewizyjnych w promieniu 100 lat świetlnych od Ziemi i nie natknęli się na jakikolwiek sygnał wskazujący na istnienie cywilizacji.⁶²⁷

⁶²⁶ Wywiad z Paulem Shuchem, dyrektorem wykonawczym SETI League.

⁶²⁷ W 1978 roku jeden z astronomów, Paul Horowitz, przeprowadził obserwacje wszystkich gwiazd podobnych do Słońca znajdujących się w promieniu 80 lat świetlnych od Ziemi. Jest 185 takich gwiazd. W 1979 roku przebadano 600

Nasza planeta stała się mniej więcej 50 lat temu źródłem promieniowania na częstościach fal radiowych i telewizyjnych. Od Ziemi z prędkością światła rozprzestrzenia się w kosmos sfera fal radiowych mająca obecnie promień 50 lat świetlnych. Ta bańka promieniowania zawiera reprezentatywną próbkę dokonań kulturowych Ziemi. Na każdej planecie w promieniu 50 lat świetlnych powinno się odbierać nasze sygnały. (Ale nawet odebrawszy i odkodowawszy je, mieszkańcy obcej planety mogliby się zastanawiać, czy rzeczywiście mają do czynienia z jakąś inteligentną formą życia na Ziemi).

To zadziwiające, że nie rejestrujemy żadnych sygnałów od obcych cywilizacji. Nie powstrzymuje to jednak ludzi (także naukowców) od spekulowania na temat prawdopodobnego wyglądu przedstawicieli innych światów.

Czy oni nas przypominają?

Na podstawie niezliczonych reportaży telewizyjnych, relacji "naocznych świadków", książek sensacyjnych, filmów przedstawiających sekcję zwłok przybyszów z kosmosu, wywiadów z osobami porwanymi do wnętrza pojazdów kosmitów, wyłania się dość zgodny obraz standardowego przybysza z kosmosu: mały, wąły, blady, o wielkich oczach i ogromnej głowie.

(Mit, że kosmici powinni wyglądem przypominać ludzi, bierze się z filmów, w których występują "obcy". Być może związek zawodowy aktorów podpisał kontrakt, na podstawie którego przedstawiciele obcych cywilizacji mogą grać tylko członkowie związku!).

Większość egzobiologów uważa, że istnieje kilka wyróżników inteligentnego życia. Jeśli zastanawiamy się, w jaki sposób nasz gatunek stał się zbiorem istot inteligentnych, wystarczy spojrzeć na ręce. Kciuk, który niegdyś pomagał w trzymaniu się gałęzi, odgrywa obecnie istotną rolę w posługiwaniu się przedmiotami. Spośród małych opuszczających drzewa mniej więcej 5 milionów lat temu przetrwały i osiągnęły wyższy poziom rozwoju te, które nauczyły się chwytać przedmioty za pomocą kciuka służącego dotychczas do huśtania się na gałęziach. Te, którym się to nie udało - wyginęły. Innymi słowy, to nie człowiek stworzył narzędzie, lecz narzędzie stworzyło człowieka.

Innym wyróżnikiem jest stereoskopowy sposób widzenia. Zawdzięczamy go posiadaniu oczu łowcy. Na ogół zwierzęta z oczami po obu stronach głowy są mniej inteligentne niż te o oczach umieszczonych frontalnie. Wiąże się to też z faktem, że zwierzęta o oczach osadzonych bocznie, takie jak królik czy jeleń, mogą paść łupem drapieżników. Oczy służą im więc do czujnego śledzenia niebezpieczeństwa. Natomiast zwierzęta o parze oczu skierowanych do przodu - wilki, tygrysy, koty, lwy - używają swojej stereoskopowej zdolności widzenia do zlokalizowania łupu.

I w końcu, jesteśmy istotami społecznymi. Komunikowanie się i kultura ma dla nas wielkie znaczenie. Język pozwala nam gromadzić osiągnięcia kulturowe i naukowe przez wiele pokoleń. Daje nam to mądrość. Nasze poglądy są ukształtowane przez ludzi, z którymi nigdy się nie zetknęliśmy.

Możemy zatem zebrać te kilka kryteriów, które z punktu widzenia egzobiologii powinni również spełniać inni inteligentni mieszkańcy kosmosu:

Po pierwsze, powinni oni mieć jakiś rodzaj oczu. (Nie oznacza to pary oczu takiej jak nasza. Mogą to być jakieś wielooczu albo inny czuły organ służący do zbierania informacji o otoczeniu).

Po drugie, powinni mieć narząd spełniający funkcję ręki, aby móc posługiwać się przedmiotami. (Niekoniecznie w formie pary rąk. Mogą posiadać wiele kończyn tego typu, być może nawet w postaci macek).

Po trzecie, powinni dysponować jakąś formą języka pozwalającego na akumulację wiedzy i kultury.

Zauważmy, że kryteria te pozostawiają niezwykle szeroki margines możliwych form inteligentnego życia. Kształt ciała, który twórcy z Hollywood przypisują istotom pozaziemskim (na przykład symetria dwustronna, małopodobna głowa, tors, ręce i nogi), ma z przedstawionymi wyżej kryteriami niewiele wspólnego. Nawet na Ziemi można sobie wyobrazić inne formy życia, rozwijające się według tych postulatów i stające się inteligentnymi. I wcale nie muszą one nas przypominać. Wieloryby, na przykład, są dość inteligentne, a oddychają przez otwór znajdujący się na czubku głowy.

Ostatnie pytanie badaczy brzmi: jak wyglądają pozaziemskie cywilizacje? Aby pokonać odległość setek lat świetlnych, powinny być technologicznie bardziej zaawansowane o setki, jeśli nie tysiące lat w stosunku do naszej. Uczeni zajmujący się poszukiwaniami życia pozaziemskiego bardzo poważnie podchodzą do tego problemu. Dokonując projekcji sposobów wytwarzania i wykorzystania energii przez obce cywilizacje, które wyprzedziły nas o tysiące lat, oraz pamiętając o prawach fizyki, możemy sobie lepiej wyobrazić, jaki stopień rozwoju mogły one osiągnąć. A korzystając ze znajomości praw fizyki w celu określenia stanu cywilizacji znacznie bardziej rozwiniętych technicznie, możemy również wejrzeć w naszą własną przyszłość.

W STRONĘ CYWILIZACJI PLANETARNEJ

*Przeznaczenie to nie ślepy los -
Przeznaczenie jest kwestią wyboru.
To nie jest rzecz, na którą się czeka —
To sprawa do załatwienia.
WILLIAM JENNINGS BRYAN*

Rewolucyjne zmiany, które miały miejsce w przeszłości - wynalazek prochu, maszyny parowej, elektryczności i bomby atomowej - odmieniły oblicze cywilizacji nie do poznania. Pytanie, które teraz powinniśmy sobie wszyscy postawić, brzmi: jakie przeobrażenia spowodują w XXI wieku rewolucja biomolekularna, informatyczna i kwantowa?

Już teraz postęp w badaniach naukowych następuje zgodnie z regułami, które będą obowiązywać w XXI wieku. Dzięki przewrotowi w biologii molekularnej będziemy dysponować kompletnym opisem genetycznym wszelkich żywych istot - zostaniemy choreografami w teatrze życia na Ziemi. Rewolucja komputerowa obdarzy nas niemal darmowymi komputerami o nieograniczonych możliwościach - osiągnięcia sztucznej inteligencji znajdują się w zasięgu ręki. A rewolucja kwantowa objawi się nowymi materiałami, nowymi źródłami energii, a nawet - możliwościami kreowania nowych form materii.

Mając świadomość zachodzących obecnie procesów, zastanówmy się, jaką formę przybierze nasza cywilizacja za kilkaset lat, jeśli przez cały czas jej rozwój będzie równie szybki.

Rzecz jasna, nikt nie posiada szklanej kuli, do której można by zajrzeć i zobaczyć, jaka czeka nas przyszłość. Istnieje jednak pewna dziedzina nauki, która bada ten właśnie problem - astrofizyka.

Astrofizycy zajęli się poszukiwaniem odpowiedzi na pytanie, jakie typy cywilizacji - zaawansowane o wieki lub tysiąclecia w stosunku do naszej - mogą zaistnieć w odległej przyszłości. Znając prawa fizyczne, można zaproponować zbiór teoretycznie uzasadnionych wskazówek pozwalających na analizę cywilizacji pozaziemskich. Rozważania te stanowią podstawę do przewidywania tego, co może czekać naszą planetę w ciągu następnych paru tysięcy lat.

Szacuje się, że Wszechświat ma obecnie 15 miliardów lat.⁶²⁸ Jest zatem możliwe, że w Galaktyce znajdują się cywilizacje starsze od naszej o miliony lat. A biorąc pod uwagę 200 miliardów gwiazd w Drodze Mlecznej i biliony galaktyk, które dostrzegamy we Wszechświecie,

⁶²⁸ Wartość tego oszacowania może ulegać zmianom, gdyż nie jest znana dokładna wartość stałej Hubble'a, informującej o tym, jak szybko Wszechświat się rozszerza. Pochodzące z 1997 roku nowe oszacowanie tej stałej, otrzymane dzięki pomiarom dokonany przez wysłanego przez kraje europejskie satelitę, prowadzi do wniosku, że

istnieją nadzwyczaj duże szanse, że w kosmosie są tysiące cywilizacji niewyobrażalnie bardziej zaawansowanych, technicznie i naukowo, niż nasza.

Chcąc metodycznie zabrać się za pozornie pozbawione szans na powodzenie poszukiwanie pozaziemskiej inteligencji, astrofizycy zaczęli badać możliwości życia we Wszechświecie. W tym celu analizowali przesłanki wynalezienia specyficznych sposobów wykorzystania energii przez cywilizacje kosmiczne. Aby sklasyfikować te cywilizacje, Mikołaj Kardaszew, astronom rosyjski, wprowadził klarowne kategorie cywilizacji typu I, II i III.⁶²⁹ Podział ten opiera się na dość oczywistym uszeregowaniu wzrostu konsumpcji energii.

Biorąc pod uwagę fizyczną stronę istniejącego świata, możemy stwierdzić, że każda cywilizacja, która pojawiłaby się w kosmosie, mogłaby korzystać jedynie z trzech źródeł energii: uzyskanej z eksploatacji swojej planety, swojej gwiazdy i swojej galaktyki. Odpowiada to właśnie typom I, II i III. Osiągnięcie przez cywilizację wyższego poziomu wiąże się z mniej więcej dziesięciomiliardowym wzrostem zapotrzebowania na energię. Choć wartość ta wydaje się niewyobrażalnie wielka, może ją przekroczyć nawet cywilizacja rozwijająca się w dość umiarkowanym tempie.

Założmy na chwilę, że wzrost gospodarczy naszego świata jest raczej powolny i wynosi 1% rocznie (to bardzo ostrożne oszacowanie). Ponieważ rozwój gospodarczy jest stymulowany rosnącym zużyciem energii, w miarę osiągania coraz wyższego pułapu wzrasta zapotrzebowanie na energię. W tej sytuacji w ciągu stu, a najwyżej kilkuset lat powinniśmy osiągnąć poziom planetarnej cywilizacji typu I.

Jeżeli szybkość wzrostu gospodarczego byłaby dalej taka sama, przejście do gwiazdnej cywilizacji typu II zabrałoby więcej czasu, może nawet 2500 lat.⁶³⁰ Przy bardziej realistycznym tempie wzrostu, 2% rocznie, czas ten skróciłby się do 1200 lat. A gdyby przyrost gospodarczy wynosił każdego roku 3% - można by się stać cywilizacją typu II w ciągu 800 lat.

Potrzeby energetyczne cywilizacji typu II ostatecznie spowodują wyczerpanie zasobów gwiazdy centralnej. Cywilizacja taka będzie musiała zwrócić się w kierunku najbliższych gwiazd w poszukiwaniu nowych źródeł energii. Stając się cywilizacją typu galaktycznego, przekroczy pewien próg rozwoju.

Osiągnięcie przez cywilizację typu II następnego poziomu trwa nieco dłużej, jako że warunkiem jest rozwiązanie problemu podróży międzygwiazdnych. Można jedynie przyjąć, że przejście do cywilizacji galaktycznej (typu III) zajmie tysiące lub miliony lat (zależnie od postępów w opanowaniu techniki lotów międzygwiazdnych).

A na którym poziomie znajduje się nasza cywilizacja? Obecnie jesteśmy cywilizacją typu 0 - energię czerpiemy z martwych roślin (tzn. z paliw kopalnych). Przypominamy dzieci, które właśnie zaczynają poznawać przepastny Wszechświat oraz istniejące w nim, być może, cywilizacje. Nasza cywilizacja jest tak młoda, że jeszcze sto lat temu jej potrzeby energetyczne zaspokajało w

Wszechświat może być znacznie młodszy, a jego wiek wynosi 10-12 miliardów lat.

⁶²⁹ Nikolai Kardashev. Transmission of Information by Extraterrestrial Civilizations, "Soviet Astronomy AJ", 8 (1964), s. 217-221.

⁶³⁰ Freeman Dyson: *Disturbing the Universe*. Harper & Row, Nowy Jork 1979, s. 212.

zupełności spalanie drewna i węgla, toteż na razie jakakolwiek dyskusja o pozaziemskich źródłach energii zakrawa na szaleństwo.

Zagrożenia cywilizacji typu zerowego

Osiąganie każdego z kolejnych etapów rozwoju cywilizacyjnego wiąże się z pewnymi zagrożeniami. Wydaje się, iż największe niebezpieczeństwa czyhają w momencie stawania się cywilizacją typu I. W pogoni za poznaniem i opanowaniem zewnętrznego świata cywilizacja typu zerowego, jak dziecko uczące się dopiero chodzić, staje się nagle świadoma zagrożeń. Dowiaduje się o epokach lodowcowych, zderzeniach z planetoidami i kometami, eksplozjach supernowych i zagrożeniach środowiskowych, takich jak degradacja atmosfery czy niebezpieczeństwo użycia broni jądrowej.

Cywilizacja typu 0 zachowuje się jak rozpieszczony smarkacz. Nie potrafi zapanować nad wybuchami gniewu. Jej historia jest niedojrzała, pełna aktów brutalności i głęboko zakorzenionej nienawiści, ustawicznych starć między sektami, ruchami fundamentalistycznymi, nacjonalistycznymi i rasowymi. Cywilizacja ta nie jest jednolitą całością. To mozaika pełna pęknięć stworzonych przez tysiące lat jej historii.

Główne niebezpieczeństwo, w którego obliczu staje cywilizacja typu zerowego, wiąże się z poznaniem układu okresowego pierwiastków. Każda cywilizacja inteligentnych istot w Galaktyce musi nieuchronnie odkryć pierwiastek o liczbie porządkowej 92 (uran) oraz chemię. Kiedy już potrafi się wyodrębnić uran, pojawia się zagrożenie w postaci anihilacji raczkującej cywilizacji eksplozją jądrową. Wraz z odkryciem chemii rodzi się możliwość zatrucia środowiska powodującego zniszczenie życiodajnej atmosfery.

Fakt, że astrofizycy nie dostrzegli żadnych śladów życia wokół najbliższych gwiazd (choć równanie Drake'a przewiduje istnienie tysięcy inteligentnych cywilizacji w naszej Galaktyce), można by tłumaczyć tym, iż Galaktykę wypełniają zgliszcza cywilizacji typu 0, które albo już rozstrzygnęły spory za pomocą pierwiastka 92, albo proces zatruwania macierzystej planety wymknął im się spod kontroli.

Jeśli innym cywilizacjom uda się uniknąć tych dwóch rodzajów niebezpieczeństw, to ich nauka na pewno rozwinie się w takim stopniu, że zdobędą wiedzę o tajemnicach życia, sztucznej inteligencji i atomu. Muszą poznać podstawy rewolucji biomolekularnej, komputerowej i kwantowej, aby wznieść się na poziom cywilizacji planetarnej. Rewolucja komputerowa umożliwi wszystkim istotom powszechną komunikację i współuczestniczenie w systemie gospodarczym. Rewolucja biomolekularna da im wiedzę o leczeniu chorób i sposobach wyżywienia rozrastającej się populacji. A rewolucja kwantowa zapewni źródła energii i technologie materiałowe potrzebne do budowy społeczeństwa typu planetarnego.

Typ I: cywilizacja planetarna

Aby stać się cywilizacją typu I, trzeba osiągnąć stabilność polityczną. Cywilizacja tego typu ma charakter planetarny. Jedynie cywilizacja planetarna może podejmować decyzje, które mają wpływ

na regulację przepływu energii i wykorzystania zasobów w skali świata. Pozyskuje ona większą część potrzebnej jej energii ze źródeł o zasięgu globalnym, tzn. z oceanów, atmosfery oraz z wnętrza planety. Potrafi wpływać na klimat i pogodę, a także eksploatować oceany. Wykorzystuje ona zasoby planety na różne sposoby, które dla nas obecnie pozostają jedynie w sferze marzeń.

Rozważmy możliwości sterowania pogodą.⁶³¹ Zwykły huragan niesie ze sobą energię większą od energii stu bomb wodorowych. Jest to tylko jeden z argumentów na uzasadnienie stwierdzenia, iż zdobycie umiejętności kierowania zjawiskami atmosferycznymi należy do dalekiej przyszłości. Sterowanie pogodą musi się opierać na współdziałaniu wielu państw, ponieważ pogoda w jednym miejscu wpływa na stan atmosfery w innych rejonach. Ponadto, jeśli gospodarka przemysłowa jednego państwa jest źródłem dużych ilości gazów cieplarnianych lub związków chemicznych zagrażających powłoce ozonowej, to skutki takich lokalnych poczynań odczuwa cała planeta. Aby zatem wpływać na pogodę lub eliminować zagrożenia w skali światowej, cywilizacja typu I musi odznaczać się wysokim stopniem współpracy. W tym właśnie rozumieniu jest ona cywilizacją planetarną.

Zużycie energii przez cywilizację typu I jest tak wielkie, że planeta będąca jej siedliskiem wygląda z kosmosu jak choinka bożonarodzeniowa. Natomiast na naszej planecie, zamieszkaanej przez cywilizację typu zerowego, widoczne są jedynie nikłe pasemka i przyćmione plamki światła wielkich miast USA (głównie aglomeracji położonych pomiędzy Bostonem a Waszyngtonem), Europy i Japonii (przede wszystkim okolice Tokio).

A jednak zagrożenie cywilizacji typu I katastrofami kosmicznymi i środowiskowymi będzie ciągle znaczne. Ze względu na trudności związane z terraformowaniem innych planet oraz z powodu ogromnych odległości do sąsiednich gwiazd cywilizacja, która osiągnęła pierwszy stopień rozwoju, będzie zmuszona do mieszkania na jednej planecie przez całe wieki. Ale sytuacja taka nie może trwać zbyt długo, gdyż cywilizacji żyjącej w jednym miejscu grozi wiele niebezpieczeństw. Świadomość zagrożenia spowoduje, iż cywilizacja pierwszego typu zdobędzie się na wysyłanie niewielkich wypraw ku sąsiednim planetom, być może nawet do najbliższych gwiazd, i zacznie zakładać w kosmosie małe przyczółki. Nie zbuduje jednak dużych kolonii, gdyż zagroziłoby to jej zasobom.

W miarę upływu czasu cywilizacja typu I rozwinie system ogólnoswiatowej komunikacji, kultury i gospodarki. Powstanie sieć umożliwiająca natychmiastowe komunikowanie z dowolną osobą. Zaczną być wykorzystywane nowe źródła energii. Społeczeństwo się wzbogaci. Dzięki temu wszystkiemu znikną bariery kulturowe i narodowościowe, które w przeszłości były powodem wielu wojen.

Przyjmując, że prawa ewolucji biologicznej na planecie zamieszkaanej przez cywilizację typu I są podobne do naszych, możemy stwierdzić, iż ewolucja jej przedstawicieli ulegnie zatrzymaniu. Na Ziemi procesy ewolucyjne ulegały przyspieszeniu, gdy niezbyt liczebne, izolowane grupy ludzkie

⁶³¹ Z teorii chaosu wiadomo, że pogody nie da się przewidzieć nawet przy użyciu największych superkomputerów. Wszystko, co cywilizacja pierwszego typu może osiągnąć, to modyfikacja zjawisk pogodowych.

zmuszone były do życia w surowych warunkach środowiska. W niewielkiej kolonii lub plemieniu występuje bowiem zjawisko krzyżowania wsobnego. Powoduje ono, iż nieznaczne różnice genetyczne stopniowo narastają, odciskając genetyczne piętno na przedstawicielach tego samego rodu. (W dawnych czasach łączono się w pary w obrębie tego samego lub pobliskiego plemienia czy szczepu. Partnera wybierało się spośród mniej niż 100 osobników. Dzisiaj liczebność puli partnerów sięga milionów). Im liczniejsza populacja partnerów, tym wolniej przebiega ewolucja.

Ponieważ w cywilizacji typu I nie będzie odosobnionych plemion krzyżujących się w ramach jednej grupy ludzkiej, powstanie mieszanina, na której gatunek zakończy swą ewolucję.⁶³²

Cywilizacja typu II: jej istnieniu nie zagrażą żadne katastrofy

Cywilizacja poziomu drugiego stanie się nieśmiertelna; będzie istnieć do końca świata. Nie zagrażą jej żadne naturalne niebezpieczeństwa. Dzięki sile swej techniki obroni się przed wieloma astronomicznymi i ekologicznymi katastrofami. Modyfikując odpowiednio wcześniej tor ruchu jakiegoś kamiennego intruza, uchroni swoją planetę przed ewentualnym zderzeniem z planetoidą lub kometą. W skali czasowej liczonej w tysiącach lat potrafi zapobiec okresom zlodowacenia, wpływając na pogodę, tj. kontrolując przepływ prądów powietrza w okolicach podbiegunowych oraz dokonując niewielkich korekt ustawienia osi obrotu planety.

Ponieważ maszyny używane na takiej planecie będą wytwarzały niesamowite ilości ciepła oraz odpadów, potrzebne staną się wymyślne sposoby ich przetwarzania. Jednakże po zdobyciu w ciągu wieków doświadczenia w utylizacji odpadów, cywilizacji takiej nie zagrażą już katastrofy związane z krańcową degradacją środowiska.

Największe zagrożenie dla cywilizacji typu II stanowi wybuch pobliskiej supernowej. Gwałtowna lawina śmiertelnych promieni X dosłownie usmażyłaby wówczas okoliczne planety. Ale prowadząc ciągłe obserwacje najbliższych gwiazd i potrafiąc przewidzieć wybuch, cywilizacja typu II miałaby jeszcze całe wieki na zbudowanie wielu odpowiedników arki Noego, w których mogłaby się ewakuować do innego systemu planetarnego.

Cywilizacja typu II, która z założenia zużytkowuje około 10 miliardów razy więcej energii niż cywilizacja typu I, wyczerpie w końcu wszelkie zasoby energetyczne planety. Jej zapotrzebowanie będzie tak wielkie, że zacznie ona pobierać energię prosto ze swego słońca. Nie oznacza to biernego wykorzystywania światła przez naziemne kolektory, ale wysyłanie w kierunku gwiazdy olbrzymich statków kosmicznych i kierowanie strumienia energii ku planecie. (Federacja Planet z serialu *Star Trek* jest na granicy osiągnięcia statusu cywilizacji typu II. Od wieków ma ogólnoplanetarny rząd i właśnie nauczyła się inicjować zapłon umierających gwiazd). Freeman Dyson, fizyk z Princeton, spekulował, że cywilizacja drugiego poziomu mogłaby wybudować dookoła swego słońca olbrzymią sferę wychwytyjącą całą energię wysyłąną przez gwiazdę, izolując się tym samym od reszty Wszechświata.

Znalezienie w kosmosie cywilizacji drugiego typu może nam nastroić pewnych trudności.

⁶³² Istnieje również możliwość, że cywilizacja typu I zdecyduje się zmienić swój wzorzec genetyczny.

Prawdopodobne jest, że ukrywa ona emisję fal radiowych i telewizyjnych.⁶³³ Nie może jednak naruszyć drugiego prawa termodynamiki.⁶³⁴ Nie da się bowiem zapobiec rozprzestrzenianiu się gigantycznych ilości ciepła wytwarzanych przez maszyny. Fakt ten powinny zarejestrować ziemskie detektory podczerwieni. Obserwowana z odległych rejonów kosmosu cywilizacja drugiego poziomu w zakresie podczerwonym wyglądałaby jak niewielka gwiazda. Cywilizacje typu II, osiągnąwszy nieśmiertelność, powinny być dość powszechne. W nadziei natknięcia się na pobliską cywilizację drugiego rodzaju Dyson doradzał nawet budowę specjalnych detektorów podczerwieni.

Cywilizacje typu II powinny wytwarzać również sporo sygnałów radiowych i telewizyjnych. Jednakże naukowcy pracujący w ramach projektu SETI i prowadzący nasłuch na różnych częstościach nie wykryli jakichkolwiek sygnałów elektromagnetycznych. Jak na ironię, nasza Galaktyka może roić się od cywilizacji typu II. Możliwe, iż nasze radioteleskopy nie potrafią "ich" dostrzec dlatego, że "oni" nie nadają tak jak my na jednej częstości, co jest rzeczywiście wielce nieefektywne, lecz opanowali o wiele skuteczniejszy sposób kodowania przekazów w całym paśmie fal radiowych. Gdybyśmy odebrali takie rozrzucone po całym paśmie sygnały, usłyszelibyśmy jedynie bełkot podobny do zwykłego szumu. Jest zatem możliwe, że fale radiowe, które docierają do nas z przestrzeni, są przepełnione sygnałami pochodzącymi od cywilizacji typu II, ale my nie potrafimy ich odcyfrować.

Cywilizacja typu III: zdobywcy Galaktyki

Przejście z drugiego poziomu do cywilizacji typu III zajmie dużo więcej czasu, gdyż osiągnięcie tego etapu ewolucji zależy od opanowania techniki wypraw międzygwiazdnych, a to jest niezwykle skomplikowanym problemem. Jeśli cywilizacji typu II uda się zbudować pojazd zdolny poruszać się z prędkością równą sporemu ułamkowi prędkości światła, to wówczas może się okazać, że kolonizacja innych zakątków Galaktyki leży w zasięgu jej możliwości.

Hollywood czaruje nas wyprawami bohaterskich dowódców przewodzących grupom odważnych odkrywców, którzy wyruszają w poszukiwaniu planety nadającej się do zamieszkania. Wydaje się jednak, że jest to najmniej efektywny sposób zdobywania Galaktyki. Najprostszym sposobem wyszukania nadającego się do kolonizacji systemu planetarnego byłoby wysłanie w przestrzeń tysięcy sond von Neumanna - małych, zrobotyzowanych stacji, które mogłyby lądować na planetach wokół odległych gwiazd i budować tam fabryki samopowielających się robotów. Fabryki te, wykorzystując metan, rudy i związki chemiczne otrzymywane z lokalnego gruntu oraz atmosfery, mogłyby wytwarzać tysiące replik robotów i wysyłać je w odleglejsze rejony przestrzeni na poszukiwanie kolejnych systemów planetarnych. Proces ten powtarzałby się bez końca, a w każdym cyklu liczba sond von Neumanna ulegałaby powieleniu o czynnik rzędu tysięcy.

⁶³³ Mogłoby się okazać, na przykład, że do komunikowania się wykorzystuje ona sieci światłowodów i kabli, a nie przekaz satelitarny.

⁶³⁴ Według drugiego prawa termodynamiki, jakiegokolwiek urządzenie, w którym istnieje różnica temperatur, jest źródłem odpadowego ciepła. Cywilizacja drugiego typu, nawet jeśliby opiecztowała swoje słońce sferą Dysona, i tak musiałaby ujawnić własną obecność, gdyż w końcu sfera ta rozgrzałaby się i zaczęła wypromieniowywać nadmiar ciepła.

Tym sposobem w dość krótkim czasie udałoby się przebadać miliony układów gwiazdnych. (Pomysł sond von Neumanna zainspirował twórców filmów *Odyseja kosmiczna 2001* i *2010* i w ten sposób pojawiły się w nich słynne monolity). Freeman Dyson przewiduje nawet, że takie lekkie sondy, będące wytworem bioinżynierii i sztucznej inteligencji, przebywając na odległych księżycach, "odżywiałyby się" metanem. (Sondy lądowałyby raczej na księżycach niż planetach, gdyż łatwiej jest opuścić słabe pole grawitacyjne niewielkich globów. Znalazłszy na księżycu dogodne miejsce, sondy zaczynałyby prowadzić obserwację planety, poszukując śladów istnienia jakiejś inteligentnej formy życia). Dyson nazywa takie sondy astro-kurczakami. Są to małe twory inżynierii genetycznej, składające się z wielu urządzeń. Z łatwością zniosą ciężką podróż, zadbają o własny rozwój i podtrzymanie swojego gatunku w nieprzyjnym środowisku odległych, niezamieszkałych księżyców, a także prześlą wiadomości na rodzimą planetę.

Jeżeli zostaną wyważone proporcje między sztuczną inteligencją a biotechnologią, powstanie idealna sonda von Neumanna. Funkcjonowałaby ona jak istota żywa: jej "rany" goiłyby się, sama wynajdowałaby "pożywienie" na zamrożonych powierzchniach odległych księżyców. Ponadto byłaby zdolna do spłodzenia tysięcy potomków, którzy kontynuowałiby poszukiwania w coraz odleglejszych obszarach Galaktyki. Należy oczekiwać, że ta istota będzie się odznaczała wysokim stopniem sztucznej inteligencji, co pozwoliłoby jej na niezależne prowadzenie najważniejszej misji - eksploracji systemów gwiazdnych - oraz na samodzielne podejmowanie decyzji zgodnych z ogólnym planem wyprawy. Aby sprawnie działać w przestrzeni kosmicznej, powinna się charakteryzować uczuciami: odczuwać ból, by unikać niebezpieczeństw, doświadczać przyjemności po zaopatrzeniu się w paliwo na jakimś dalekim księżycu, objawiać uczucia macierzyńskie wobec swojego potomstwa oraz umieć cieszyć się i być dumną z dobrze spełnionej misji.

Jeśli cywilizacja typu III nauczyłaby się budować takie sondy i wysłałaby je w pojazdach poruszających się z prędkością równą połowie prędkości światła, musiałaby trochę odczekać, zanim z przestrzeni zaczęłyby nadchodzić sygnały o przebadanych układach gwiazdnych. W ciągu tysiąca lat sondy von Neumanna mogłyby zbadać i opisać wszystkie systemy gwiazdne w promieniu 500 lat świetlnych. Przebadanie połowy Galaktyki zajęłoby im 100 tysięcy lat. Dzięki nadzwyczajnej sprawności takich sond, cywilizacja trzeciego typu bardzo szybko określiłaby, które systemy planetarne wokół innych gwiazd nadają się do kolonizacji.

Naukowcy zastanawiają się, czy cywilizacja typu III istnieje już w naszej Galaktyce. Jeśli tak, to przebadawszy wielkie obszary Drogi Mlecznej, zostawiłaby ślady jakichś sond von Neumanna, tak jak to przedstawiono w filmie *2001: Odyseja kosmiczna*. Inna teoria głosi, że cywilizacja typu III, będąc zaawansowaną technologicznie o tysiące lat w stosunku do naszej, po prostu się nami nie interesuje. W końcu, jeśli znajdujemy w lesie kopiec mrówek, czy pochylamy się nad nim i oferujemy owadom świece, lekarstwa, wiedzę i osiągnięcia naukowe? Przeciwnie, niektórzy odczuwają nieodpartą ochotę rozdeptania paru maleńkich zwierząt.

Być może cywilizacja typu III ma nawet ambicje, aby posługiwać się "energiami Plancka", czyli

energiją potrzebną do rozerwania tkanki czasoprzestrzeni. Chociaż opanowanie tej skali niewyobrażalnie wielkich energii zdecydowanie wykracza poza możliwości cywilizacji typu zerowego, powinna być ona osiągalna dla dojrzałej cywilizacji typu I oraz bardziej zaawansowanej. Wszak zgodnie z wcześniejszym oszacowaniem, możliwości energetyczne kolejnych cywilizacji, począwszy od typu I, przekraczają mniej więcej o 100 miliardów do miliarda bilionów energii, którymi dysponuje nasza cywilizacja.

Cywilizacje rozporządzające tak potężnymi energiami mogłyby "przewiercać się" przez przestrzeń (zakładając, że takie tunele czasoprzestrzenne nie naruszają praw mechaniki kwantowej). Być może najlepsza droga do gwiazd wiedzie przez "okna" otwierające się na inne wymiary i należy zapomnieć o niezgrabnych raketach, żmudnie przemierzających przestrzeń kosmiczną.

W stronę cywilizacji planetarnej

Jesteśmy ciągle cywilizacją typu zerowego: tragicznie pokawałkowaną na skłócone, zazdrosne państewka, pełną głębokich podziałów na tle rasowym, religijnym i narodowościowym. Eksploatacja oceanów czy sterowanie pogodą nie wchodzi w rachubę, skoro ledwie udaje nam się wysłać mizerne sondy w kierunku najbliższych planet, a nie umiemy nawet zatroszczyć się o pożywienie i energię dla nas samych. Obecnie zauważyć można dwie przeciwstawne tendencje. Z jednej strony, świat staje się coraz mocniej podzielony; wojny wyzwoleńcze, etniczne oraz partykularne interesy narodów zdominowały wydarzenia w wielu rejonach globu. Równocześnie wydaje się on coraz głębiej jednoczyć - rozwija się współdziałanie narodów oraz wyłaniają się nowe wspólnoty, na przykład Unia Europejska.

Starając się przewidzieć, która tendencja przeważy, wyobraźmy sobie świat za 100 lat. Biorąc pod uwagę, że niektóre państwa azjatyckie osiągają godny podziwu wzrost gospodarczy około 10% rocznie, możemy przyjąć, że rozwój światowej gospodarki w XXI wieku, przy postępującej industrializacji krajów Trzeciego Świata, osiągnie wartość nawet 5% rocznie. A w związku z tym produkcja oraz zużycie energii wzrosną w skali światowej 130 razy w ciągu jednego wieku.

Osiągnięcia ekonomiczne, techniczne i naukowe przyszłego stulecia mogą ponad stokrotnie zmniejszyć wagę wszelkich wyobraźalnych dzisiaj problemów. Znaczne obszary świata, obecnie będące rejonami skrajnego ubóstwa, zostaną w tym czasie uprzemysłowione. Oczywiście, bogactwo nie rozłoży się równomiernie. Jednakże stopniowo, w miarę wzrostu zamożności, zniknie nienawiść, na której opierały się w przeszłości nacjonalizmy i sekciarstwo. Trudno jest wzniecać niepokoje i tworzyć separatyzmy, kiedy ludzie mają co jeść i są zadowoleni. Jak już kiedyś powiedziano: "Nie istnieje ktoś taki, jak obżarty nacjonalista".

Pod koniec XXI wieku pojawią się wyraźne naciski, zarówno społeczne, jak i polityczne oraz gospodarcze, pod których wpływem powstanie cywilizacja planetarna opierająca się na globalnej ekonomii. Oczywiście, elity rządzące, zazdrośnie strzegące swoich wpływów, będą piętrzyły liczne przeszkody. Jeszcze przez wiele lat XXII wieku mogą blokować powstanie cywilizacji typu I na

Ziemi. Jednakże wraz z upływem każdego dziesięciolecia znaczenie dawnych przedstawicieli władzy będzie nikło na skutek działania sił społecznych i gospodarczych, powstałych dzięki opisywanym tutaj rewolucjom naukowym.

Krach na skalę globalną

Jedną z sił wiodących nas ku cywilizacji planetarnej jest obawa przed katastrofą na skalę globalną, na przykład zniszczeniem powłoki ozonowej. W 1982 roku doniesienie o istnieniu nad biegunem południowym dziury ozonowej wielkości obszaru USA pokonało bezwładność rządów i niesnaski międzypaństwowe, a nawet zelektryzowało Organizację Narodów Zjednoczonych. Dane satelitarne dostarczyły też informacji o złowieszczym spadku stężenia ozonu nad półkulą północną, nad niektórymi obszarami nawet o 1% rocznie. Warstwa ozonowa jest cienką sferyczną otoczką rozciągającą się na wysokości około 25 kilometrów nad powierzchnią Ziemi. Absorbując groźne promieniowanie ultrafioletowe, chroni wszelkie życie na powierzchni planety. Jeśli uszkodzenia powłoki ozonowej nie zostaną odbudowane, do 2075 roku można spodziewać się 60 milionów przypadków raka skóry, nie wspominając już o fatalnych skutkach dla upraw oraz wymieraniu gatunków zwierząt, które są ważnymi ogniwami łańcucha pokarmowego na Ziemi.

Kiedy uczeni udowodnili, że freony, związki chemiczne stosowane w chłodziarkach, stanowią bezpośrednie zagrożenie dla warstwy ozonowej, 31 krajów bardzo szybko doszło do porozumienia i w 1987 roku w Montrealu podpisało historyczny dokument dotyczący wycofania tych związków do 2000 roku.

Dwa wydarzenia o ogromnym znaczeniu, Protokół Montrealski oraz Szczyt Ziemi, który odbywał się pod egidą ONZ w Rio de Janeiro w 1992 roku, zwróciły uwagę świata m.in. na sprawy różnorodności biologicznej, zanieczyszczenia środowiska i przeludnienia. Obecnie istnieje już ponad 170 umów międzynarodowych dotyczących różnych aspektów ochrony środowiska.

A jednak zagrożenie naszej atmosfery nie skłania wszystkich krajów do międzynarodowej współpracy. Chociaż niemal wszyscy uczeni są przekonani, że w wyniku efektu szklarniowego temperatury na Ziemi mogą się niebezpiecznie podnieść w XXI wieku, poszczególne państwa wcale nie spieszą się z rozwiązaniem tego problemu. Groźbę globalnego ocieplenia jasno przedstawiono w 1995 roku podczas zorganizowanego przez ONZ Międzyrządowego Panelu na temat Zmian Klimatycznych. Zebrało się tam ponad 2000 uczonych ze wszystkich krajów świata.⁶³⁵ Ze sporządzonego w trakcie konferencji raportu wynika, iż jeśli nie zostanie powstrzymany wzrost stężenia dwutlenku węgla, w XXI wieku będziemy świadkami katastrofy na skalę globalną:⁶³⁶ stopi się jedna trzecia, a może nawet połowa gór lodowych; jedna trzecia ekosystemów znajdzie się w niebezpieczeństwie; do 2100 roku poziom mórz podniesie się o 15-90 centymetrów, stwarzając

⁶³⁵ UN Web Page. "Science News", 4 listopada 1995, s. 293.

⁶³⁶ Fakt, że obecne stężenie dwutlenku węgla w atmosferze jest najwyższe od 150 tysięcy lat, został stwierdzony na podstawie badań próbek lodu pobranych z głębokich warstw lodowców polarnych. Wykresy ilustrujące zmiany stężenia CO₂ w ziemskiej atmosferze wykazują oczywistą korelację ze schematami przedstawiającymi zmiany temperatur na Ziemi. Za globalnym ociepleniem kryje się 6 miliardów ton węgla wprowadzanego do atmosfery każdego roku w wyniku spalania paliw kopalnych. (Rewolucja przemysłowa przyczyniła się do wyemitowania do atmosfery 170 miliardów ton węgla).

zagrożenie dla 92 milionów osób zamieszkałych na nisko położonych terenach, takich jak Bangladesz; miliony ludzi mogą umrzeć na malarię⁶³⁷ i inne choroby tropikalne; w miarę jak coraz większe obszary zamieniać się będą w pustynie i suche stepy, zaczną rozszerzać się strefy głodu.^{638, 639}

Ponieważ źródłem ocieplenia globalnego jest używanie paliw kopalnych, a gospodarki wielu państw zależą od ropy i węgla, stężenie dwutlenku węgla (już teraz najwyższe od 150 tysięcy lat) będzie w XXI wieku rosło. Prawdopodobnie dopiero kiedy ocieplenie zacznie w widoczny sposób wpływać na pogodę i stan ekosystemów w skali świata, niechętnie zmianom kraje przestraszą się na tyle, że podejmą jakieś działania, włącznie z wprowadzeniem czegoś w rodzaju podatku węglowego lub wręcz wycofaniem ropy i węgla jako źródeł energii. Zagrożenie zapaścią, która mogłaby dotknąć całą planetę, będzie więc bez wątpienia wymuszać, nawet jeśli z oporami, współpracę międzynarodową.

Przeludnienie a wyczerpywanie zasobów Ziemi

Jednym z najgroźniejszych problemów świata, odbijającym się zarówno na środowisku, jak i społeczeństwie, jest eksplozja demograficzna. Wiąże się ona z ogromnym uszczupleniem naturalnych zasobów planety. Musiało minąć kilka milionów lat,

zanim liczba ludzi na świecie osiągnęła miliard. Stało się to około 1830 roku. Ale wystarczyło sto lat, żeby pojawił się następny miliard. Do 1975 roku liczba ludzi znowu się podwoiła, osiągając 4 miliardy. W ciągu następnych 20 lat liczba ta podskoczyła do około 5,7 miliarda osób. Jedna dwudziesta wszystkich istot ludzkich, które chodziły kiedykolwiek po Ziemi, żyje w naszych czasach.

Ta bezprecedesowa eksplozja populacyjna powoduje, że wyżywienie staje się problemem krytycznym, a jednocześnie wywiera ona ogromny nacisk na ekosystemy i bioróżnorodność. Zgodnie z danymi z 1997 roku w ciągu roku łowi się 100 milionów ton ryb i uzyskuje 1,7 miliarda ton ziarna zbóż.⁶⁴⁰ Zdobywając nowe tereny pod uprawy rolnicze, ludzie ogołocili już z lasów obszar wielkości Stanów Zjednoczonych.⁶⁴¹ Tym samym spowodowali wyniszczenie pewnych gatunków zwierząt i roślin. Niektórzy biolodzy szacują, że do końca naszego stulecia wyginie milion gatunków. A do połowy XXI wieku zniknie kolejna jedna czwarta gatunków żyjących obecnie na Ziemi.

Biolog Robert W. Kates wskazuje, że w historii ludzkości pojawiły się trzy fale eksplozji populacyjnych. Wszystkie wiązały się z postępem technicznym. Pierwsza z nich zaczęła się mniej więcej milion lat temu, kiedy istoty rozumne wpadły na pomysł wytwarzania narzędzi. Wyzwoliło to

⁶³⁷ Na samą malarię choruje 300 do 500 milionów osób, czyli niemal 10% ludzkości. Wzrost temperatury na Ziemi o 3-5°C spowodowałby rozprzestrzenienie się malarii na obszar zajmujący 60% powierzchni Ziemi. Pod wpływem globalnego ocieplenia, poprzez rozszerzanie się strefy wegetacji alg i bakterii (mikrobów skażających ujęcia wody), zwiększyłyby się również zasięg innych strasznych chorób, na przykład cholery.

⁶³⁸ Wywiad z Lesterem Brownem z World Watch Institute.

⁶³⁹ Wywiad z Michaeliem Oppenheimerem z Environmental Defense Fund.

⁶⁴⁰ Wywiad z Lesterem Brownem.

⁶⁴¹ Robert W. Kates: Szansa na utrzymanie życia na Ziemi, "Świat Nauki", grudzień 1994, s. 99.

mechanizmy, dzięki którym populacja licząca kilkaset tysięcy osobników wzrosła do 5 milionów. Po drugiej rewolucji, która rozpoczęła się mniej więcej 10 tysięcy lat temu wraz z pojawieniem się rolnictwa oraz udomowieniem zwierząt, liczebność populacji podskoczyła do około 500 milionów. Trzecia eksplozja demograficzna wiążąca się z rewolucją przemysłową zaczęła się kilkaset lat temu.

Powstaje pytanie: czy Ziemia wyżywi swoich mieszkańców, jeśli populacja będzie wzrastała w tak zastraszającym tempie?

Ten ogromny przyrost demograficzny może się jednak pewnego dnia zakończyć. Według ocen ONZ liczebność naszej populacji wkrótce się ustabilizuje - w 1999 roku powinno być 6 miliardów ludzi, w 2011 - 7 miliardów, w 2025 - 8 miliardów, w 2041 - 9 miliardów i 10 miliardów w 2071 roku.⁶⁴² Ostatecznie liczba ta może osiągnąć pułap 12 miliardów w XXII wieku.

Szacunki ONZ opierają się na zaobserwowaniu pewnej prawidłowości. Otóż stabilizacja liczby ludności następuje w każdym uprzemysłowionym społeczeństwie. Japonia i Niemcy odnotowują nawet ujemny przyrost naturalny. Każdy z krajów uprzemysłowionych przeżył gwałtowny wzrost liczby ludności w związku z rozwojem nowoczesnej medycyny i wprowadzeniem urządzeń sanitarnych i kanalizacji. Następował wówczas gwałtowny spadek śmiertelności. Dopiero później liczba ludności się stabilizowała. Obecnie 30 krajów (w których żyje 820 milionów ludzi) osiągnęło stabilizację demograficzną.⁶⁴³

"Rozwój jest najlepszym środkiem antykoncepcyjnym. Wraz z postępowaniem społeczno-gospodarczym zmniejsza się potrzeba czy pragnienie posiadania liczniejszego potomstwa, ponieważ więcej dzieci przeżywa. Dzieci nie muszą też od samego początku pracować, natomiast trzeba je wykształcić. Skraca się więc nie tylko czas przeznaczony na rodzenie dzieci, lecz także na ich wychowanie. Ponadto postęp stwarza kobietom większe możliwości uzyskania wykształcenia i znalezienia pracy zarobkowej. Wreszcie - udostępnia środki służące do regulacji urodzeń" - zauważa Kates.⁶⁴⁴ (Jak na ironię, w krajach uprzemysłowionych najszybciej rosnącą grupą ludności są ludzie starzy, natomiast w krajach Trzeciego Świata wciąż najszybciej zwiększa się liczebność młodego pokolenia).

Oczywiście, naszą cywilizację typu zerowego czekają w nadchodzącym wieku nadzwyczajne niebezpieczeństwa. Narody, które z powodów historycznych odmawiały dotąd jakiegokolwiek współpracy, mogą zostać zmuszone do włączenia się w przedsięwzięcia w skali globalnej i zgodnego współdziałania.

Odwrócona wędrówka ludów

Kultura to zarówno dar, jak i przekleństwo ludzkości. Od chwili pojawienia się człowieka rozumnego aż do dziś przez 99% czasu przedstawiciele tego gatunku żyli w małych, prymitywnych, wędrownych grupach, które zapewniały warunki do przetrwania zaledwie 50

⁶⁴² "New York Times", 17 listopada 1996, s. 3.

⁶⁴³ World Watch Institute: *State of the World, 1996*. Waszyngton 1996, s. 12.

⁶⁴⁴ Robert W. Kates: Szansa na utrzymanie życia na Ziemi, "Świat Nauki", grudzień 1994, s. 102.

osobnikom. (Badania wykazują, że jeśli grupa plemienna rozrastała się ponad tę liczbę, traciła możliwość utrzymania, w tym wyżywienia, dodatkowych członków i ulegała rozpadowi). Spoiwem klanów szczepowych była kultura - rytuały, zwyczaje i język. Stanowiły one oparcie i zapewniały ochronę ze strony współplemieńców i krewnych. Legendy i mity o dawnych bohaterach opowiadane w blasku obozowego ogniska cementowały związki wewnątrzplemienne. Obecna różnorodność ludzkich społeczności, mozaika tysięcy języków, religii i zwyczajów bierze swój początek z tego właśnie źródła.

Kultura to także przekleństwo. Wytworzyła wiele mitów leżących u podstaw podziałów "my-oni". Tym samym stała się przyczyną ustawicznych walk plemiennych.

Okolo 100 tysięcy lat temu, wkrótce po tym jak w Afryce pojawił się *Homo sapiens*, rozpoczęła się wędrówka ludów. Małe, przenoszące się z miejsca na miejsce plemiona prawdopodobnie z powodu zmian klimatycznych wyruszyły w wielką podróż w nieznaną. Być może nie więcej niż kilka tysięcy osobników skierowało się na północ i zasiedliło tereny Bliskiego Wschodu i południowej Europy. Okolo 50 tysięcy lat temu kolejna partia wędrowców ruszyła w kierunku Azji, a potem ku obu Amerykom. Podjęcie wędrówki spowodowało rozdzielenie się ludzi na grupy i izolację genetyczną. W poszczególnych grupach wykształciły się różne rodzaje cech, pozwalających na adaptację do nowych, surowych warunków. W ten sposób powstały rasy; różniące się już kulturowo plemiona dodatkowo się podzieliły.

Jednakże rewolucje zachodzące właśnie w nauce wyzwolą w XXI wieku siły, które po raz pierwszy od 100 tysięcy lat będą miały szansę zniszczyć procesy podtrzymujące istnienie wielkiej diaspory. Przedwieczne tendencje odśrodkowe, które doprowadziły do powstania tak głębokich podziałów, powoli zanikają. Widoczny jest natomiast nowy kierunek prowadzący ku cywilizacji planetarnej: rozwój gospodarki globalnej, osłabienie poczucia przynależności narodowej, powstanie międzynarodowej klasy średniej, rozwój wspólnego dla całego świata języka i początki kultury ogólnoswiatowej.

Koniec epoki narodów?

Największą przeszkodą w powstaniu cywilizacji planetarnej jest podział władzy politycznej pomiędzy zawistne narody. Żyjemy w epoce państw narodowych, która obejmie również cały XXI wiek. Zapominamy wszakże czasami, że państwa narodowe pojawiły się na scenie historii stosunkowo niedawno. Uchwyciły się rewolucji przemysłowej i rozwijającego się kapitalizmu i wyrosły wraz z nimi. Państwa te nie są również wieczne.

Przed rewolucją przemysłową władza podzielona była między niewielkie księstwa. Narody nie odgrywały wielkiej roli, istotne były natomiast ambicje polityczne monarchów i wyobrażenia kartografów. Alvin Toffler pisał: "Nawet najwięksi władcy rządzą zwykłym zlepkiem niewielkich, bezpośrednio podległych im społeczności".⁶⁴⁵ Pisarz S. E. Finer, jeszcze w epoce przedindustrialnej odwiedzający miasta zamieszkałe przez ten sam "naród", zauważył, że po

⁶⁴⁵ Alvin Toffler: *The Third Wave*. Bantam Books, Nowy Jork 1980, s. 80.

drodze prawo zmieniało się równie często, jak on wymieniał konie.⁶⁴⁶ "W kroplach i okruchach mierzy się władzę królów i książąt" - doszedł do wniosku Finer. Królowie i książęta mogli się rozwodzić nad losem narodów, ale każde miasto i tak samo ustalało własne prawa i zwyczaje.

Aż do drugiej połowy XIX wieku Niemcy nie istniały jako jeden organizm państwowy. Dopiero Otto von Bismarck, żelazny kanclerz, w 1871 roku stworzył współczesne Niemcy, łącząc ponad 350 skłóconych księstw oraz Prusy. Natomiast zwalczające się nawzajem państwa-miasta Wioch, upamiętnione przez Machiavellego w szatańsko szczerym traktacie politycznym *Książę*, odłożyły na bok odwieczne waśnie w 1870 roku.

W pewnych rejonach świata państwa narodowe dopiero zaczynają istnieć, co powoduje ustawiczne walki i konflikty. Mowa tu o krajach Trzeciego Świata, znajdujących się na Bliskim Wschodzie i w Afryce. Organizmy państwowe zostały tam dowolnie wykrojone przez wielkie mocarstwa, głównie Francję i Wielką Brytanię. Rządy tych krajów pokawałkowały obszary zgodnie z zasadą "dziel i rządź". Ułatwiło to Paryżowi i Londynowi zdobycie wpływu na bieg spraw w byłych koloniach. Te sztuczne granice podziałów politycznych, często ustanawiane tak, by wzmocnić jeszcze zadawnione konflikty etniczne, są źródłem niezwykle silnych napięć.

Chociaż znajdujemy się w okresie świetności epoki narodów, pojawiają się już pierwsze przejawy jej kryzysu. Kontakty handlowe zaczynają się rozwijać na skalę globalną. Granice państw narodowych poddają się działaniu sił gospodarczych, podobnie jak feudalne księstwa poddały się siłom państwowo-twórczym w epoce industrialnej.

Kenichi Ohmae, autor książki *The End of the Nation State [Koniec państwa narodowego]*, były doradca McKinsey & Company i konsultant międzynarodowych instytucji finansowych, pisze: "W gospodarce globalnej tradycyjne państwa narodowe stały się nienaturalnymi, wręcz nieznośnymi jednostkami".⁶⁴⁷ Przewiduje on zmiękanie epoki narodów pod wpływem sił światowej gospodarki.

"Państwa narodowe są organizmami politycznymi, w których gospodarczym krwioobiegu ciągle odkłada się cholesterol. Z czasem arterie twardnieją i żywotność organizmu maleje" -pisze Ohmae.⁶⁴⁸

W tych poglądach Kenichi Ohmae nie jest odosobniony. Odbijają się one echem w tekstach wielu komentatorów politycznych. Francuski politolog, Denis de Rougement, twierdzi: "Państwo narodowe, uważające się za suwerenne, w rzeczywistości jest zbyt małą jednostką, by odgrywać istotną rolę na poziomie globalnym [...] Żadne z 28 państw europejskich samo nie potrafiłoby obronić się ani sprostać wymogom rozwoju gospodarczego czy postępu technicznego [...]"⁶⁴⁹

A Toffler wskazuje: "Zmierzamy do ogólnoświatowego układu przypominającego swoją strukturą raczej gęstą sieć neuronów w mózgu niż luźne zbiurokratyzowane jednostki organizacyjne".⁶⁵⁰ Inni, jak John Kenneth Galbraith, ekonomista z Harvardu oraz dyplomata, przewidują powstanie czegoś w rodzaju światowego rządu, który zastąpiłby anemicznie działającą ONZ.

⁶⁴⁶ *Ibidem*.

⁶⁴⁷ Kenichi Ohmae: *The End of the Nation State*. Simon & Schuster, Nowy Jork 1995, s. 5.

⁶⁴⁸ *Ibidem*, s. 142.

⁶⁴⁹ Toffler: *The Third Wave*, s. 230.

⁶⁵⁰ *Ibidem*, s. 237.

Już John Lennon w swoim utworze *Imagine* wyśpiewał, że nietrudno wyobrazić sobie świat bez narodów.

Oprócz rozwoju globalnej gospodarki i zmiękczenia państwa narodowego działa jeszcze inna, równie potężna siła wymuszająca stabilizację cywilizacji planetarnej - międzynarodowa klasa średnia.

Klasa średnia w natarciu

W ciągu niemal całych dziejów ludzkości, które zostały poświadczane w przekazach pisanych, wąskie elity polityczne, często brutalnie, rządziły wielkimi masami ubogich ludzi. Jedynie niewielka grupa wybrańców miała dostęp do edukacji, wiedzy, bogactwa i siły wojskowej - elementów służących utrzymaniu władzy.

Już niemal truizmem jest stwierdzenie, że rządzące elity działają głównie w celu ugruntowania swoich wpływów. W cywilizacji planetarnej kryterium takie nie istnieje. Choć obecnie elity rządzące będą wszelkimi sposobami sprzeciwiać się procesom unifikacyjnym, uruchomi się pewien mechanizm jednoczący. Mowa tu o względnie nowej, ale być może niezwykle potężnej sile, jaką jest międzynarodowa klasa średnia. Wraz z jej rozwojem potęga elit rządzących słabnie.

Większość przedstawicieli gatunku ludzkiego żyje w krajach Trzeciego Świata. Państwa te weszły w fazę pełnej industrializacji 300 lat po Europie. Uprzemysłowienie Europy doprowadziło ostatecznie do obalenia na kontynencie monarchii i imperiów starego porządku. Natomiast industrializacja Trzeciego Świata powoduje powstanie klasy średniej, która będzie motorem zmian społecznych w przyszłości.

Klasa średnia, równie egoistycznie nastawiona jak inne, dysponuje pulą środków zapewniających ład oraz gwarantujących rozwój międzynarodowego handlu i przepływu informacji. Wyposażona w faksy, Internet, anteny satelitarne i telefony komórkowe może prowadzić kampanie o ogromnym zasięgu. A wiadomo, że apetyt rośnie w miarę jedzenia.

Ohmae zauważa, że w rozwijającej się klasie średniej całego świata zwiększają się potrzeby i wymagania. Jeśli poszczególni ludzie mają przychody w wysokości 5 tysięcy dolarów, czyli na czteroosobową rodzinę przypada około 20 tysięcy dolarów, następuje subtelna, ale daleko idąca przemiana psychologiczna.⁶⁵¹ Skoro nie trzeba się już zastanawiać, skąd wziąć pieniądze na następny posiłek lub jaka choroba zabierze kolejnego członka rodziny, zaczyna się myśleć o zdobywaniu dóbr materialnych. A to wciąga w świat przedmiotów luksusu napływających z krajów rozwiniętych. Co więcej, po osiągnięciu pewnego poziomu dostatku i stabilizacji "ludzie bez wątplenia zaczną rozglądać się wokół i pytać, dlaczego oni nie mogą posiadać tego, co mają inni. A co równie ważne, zaczną się zastanawiać, dlaczego nie mieli tego w przeszłości".⁶⁵²

Ogólnoswiatowy język i kultura planetarna

Obecnie na Ziemi ludzkość porozumiewa się za pomocą około 6 tysięcy języków. Odzwierciedla

⁶⁵¹ Ohmae: *The End of the Nation State*, s. 44.

to głębokie historyczne podziały wywołane wędrówką ludów. Jak jednak ocenia Michael E. Krauss, dyrektor Centrum Języków Ojczystych na Uniwersytecie Alaski, 90% tych języków lub więcej prawdopodobnie wymrze. Sądzi on, że przetrwa 250-600 języków.⁶⁵³

Angielski wybił się spośród wszystkich języków. Obecnie jest to *lingua franca* biznesu i nauki. Powszechnie używa się go w czasie spotkań naukowych, konferencji i operacji handlowych. Jest również językiem Internetu, sieci, z której korzystają dziesiątki, jeśli nie setki milionów użytkowników komputerów. Ten, kto chce mieć jakikolwiek kontakt ze światową gospodarką czy nauką, musi mówić po angielsku. Jest to wspólny mianownik wszelkich ludzkich poczynań na skalę globalną.

Jak zauważa felietonista William Safire: "W 2100 roku angielski będzie pierwszym drugim językiem".⁶⁵⁴, ⁶⁵⁵ Szacuje on, że już dzisiaj posługuje się nim na świecie około miliarda osób. A liczba ta wzrośnie gwałtownie w XXI wieku.

Rewolucja komputerowa, paradoksalnie, zarówno przyczyni się do zachowania różnych języków, jak i zniszczy je. Z jednej strony, dzięki powstaniu globalnych sieci telekomunikacyjnych, podróżom międzynarodowym, biznesowi i nauce, zjawisko rozprzestrzeniania się angielskiego nabierze rozpędu. Ale

z drugiej strony, osiągnięcia rewolucji komputerowej sprawiają, iż przetrwa wiele zanikających języków; niektórymi z nich posługuje się obecnie zaledwie garstka starszych osób. Wiele tych dialektów będzie istniało jedynie na taśmach i w słownikach komputerowych. Jednym z pierwszych, którzy dostrzegli, że załączki kultury planetarnej kielkują dzięki rewolucji telekomunikacyjnej, był Aldous Huxley. W książce *Jak suche liście* pisał: "Tani druk, telefony bez drutu, pociągi, samochody, gramofony i wszystko inne umożliwiła konsolidację plemion nie jakichś parotysięcznych, lecz milionowych".

Dzięki Internetowi nie tylko utrzymuje się kierunek zmian przedstawiony przez Huxleya, lecz przemiany następują coraz szybciej. "Autostrada informacyjna przełamie granice i przyczyni się do powstania ogólnoświatowej kultury, a przynajmniej do tworzenia wydarzeń kulturowych oraz lansowania poglądów [...] Sądzę, że ludzie mają poczucie przynależności do wielu społeczności, w tym do społeczności całego świata" -twierdzi Bill Gates.⁶⁵⁶

Tematyka wiadomości oraz typ przekazu telekomunikacyjnego uległy ujednoczeniu w związku z rozwojem stacji CNN, Sky TV i wielu innych nowych kanałów, docierających do najbardziej izolowanych zakątków świata. Nawet tak surowe teokracje, jak irańska, nie potrafią powstrzymać rozprzestrzeniania się anten satelitarnych. Urządzenia te w krajach Trzeciego Świata pienią się jak zielsko. Przekazują nowe idee oraz - uznawane za wywrotowe - obrazy bogactwa innych krajów.

Zbliżanie się do wspólnej cywilizacji planetarnej nie dla wszystkich oznacza coś przyjemnego. Na przykład jednym z najważniejszych produktów eksportowych Stanów Zjednoczonych są filmy i

⁶⁵² Ibidem, s. 45.

⁶⁵³ "Science News", 25 lutego 1995, s. 117.

⁶⁵⁴ "New York Times Magazine", 29 września 1996, s. 61.

⁶⁵⁵ *The Computer in the 21 st Century*. Scientific American Books, Nowy Jork 1995, s. 4.

⁶⁵⁶ Bill Gates: *The Road Ahead*. Viking, Nowy Jork 1995, s. 263.

rock-and-roll. Filmy akcji z Arnoldem Schwarzeneggerem są ogromnie popularne i łatwo zrozumiałe w wielu kulturach. Rock-and-roll trafił na podatny grunt: międzynarodową grupę dostаточно żyjących, zbuntowanych nastolatków.

Choć kultura planetarna nie każdemu musi przypaść do gustu, może mieć zbawienny wpływ na przełamanie barier kulturowych, co przyczyniłoby się do powstania cywilizacji pierwszego i drugiego typu.

MISTRZOWIE CZASU I PRZESTRZENI

Najtrudniej jest zrozumieć, dlaczego w ogóle cokolwiek rozumiemy.

ALBERT EINSTEIN

Biblia mówi nam, jak dostać się do nieba, ale nie mówi, jak niebiosa działają.

JAN PAWEŁ II

Materia. Życie. Umysł.

Trzy filary, na których opiera się nauka. Jak już wielokrotnie podkreślaliśmy, dzięki poznanim w XX wieku prawom rządzącym mechaniką kwantową, DNA i komputerami, odkryto tajemnicę materii, życia i umysłu. W wieku XXI nauczymy się kierować elementami tej triady. Z obserwatorów tańca materii przeistoczymy się w aktywnych jej choreografów. Nauka XXI wieku naznaczona będzie ciągłym mieszaniem się osiągnięć i wpływów tych trzech elementów rzeczywistości.

Jeśli jednak nie uwzględnimy czwartego elementu - czasoprzestrzeni, która dopełnia nasz obraz Wszechświata - to nasza wizja przyszłości nauki ciągle będzie niepełna. Ostatnio fizycy intensyfikują wysiłki, aby wyjaśnić tajemnice przestrzeni i czasu. To, czego się zapewne wkrótce dowiemy, może przynieść ostateczną odpowiedź na najtrudniejsze pytania dotyczące tkanki przestrzeni i czasu, na przykład: czy przestrzeń może ulec przerwaniu, czy kierunek upływu czasu można odwrócić oraz jak narodził się Wszechświat i jaki będzie jego koniec? Dzięki badaniu czasoprzestrzeni być może znajdziemy odpowiedź na jedno z najbardziej interesujących pytań dotyczących przyszłości: jaki los czeka wszelkie wcielenia inteligentnego życia we Wszechświecie?

Czwarty filar: czasoprzestrzeń

W filmie *Star Trek: Pierwszy kontakt* oraz w trylogii Isaaca Asimova *Fundacja* odkrycie możliwości podróży przez tunele czasoprzestrzenne przedstawiono jako kamień węgielny historii galaktycznej. Uznano, iż rozpoczęcie wypraw będzie równoznaczne z osiągnięciem przez ludzkość dojrzałości. Będzie oznaczało zerwanie z planetarną izolacją i ignorancją oraz przyłączenie się do galaktycznej wspólnoty planet. Zgodnie z tymi wspaniałymi przepowiedniami, my - dzieci gwiazd - powinniśmy zająć należne nam miejsce wśród cywilizacji zamieszkujących rozrzucone w przestworzach systemu gwiazdne.⁶⁵⁷

⁶⁵⁷ Temperatura jądra Słońca nie jest wystarczająco wysoka, by powstały pierwiastki, które występują w naszym ciele. Nawet w środku czerwonego olbrzyma temperatury nie są dostatecznie wysokie, aby powstały pierwiastki cięższe niż

Czy napęd czasoprzestrzenny jest możliwy? Czy jest zgodny z prawami fizyki, czy też to tylko fikcja literacka?

To zadziwiające, ale poszukiwanie odpowiedzi na te pytania kieruje nas ku zakreślonym przez fizykę granicom poznania. Chociaż odbycie podróży przez tunel czasoprzestrzenny będzie przekraczało nasze możliwości w XXI wieku, to, zgodnie z naszym rozumieniem fizyki, nie można założyć, że wyprawy takie w ogóle nie wchodzą w rachubę, szczególnie w przypadku cywilizacji typu I i II.

W poprzednich rozdziałach starałem się pokazać, iż można z dużym prawdopodobieństwem przewidywać przyszłość nauki, gdyż odkryto już podstawowe prawa rządzące cząstkami elementarnymi, DNA i komputerami. Aby jednak skonstruować wehikuł czasu lub jakiś wirolot czasoprzestrzenny, musimy rozciągnąć naszą wiedzę fizyczną do granic ostatecznych. Okazuje się, że do wyjaśnienia, czy możliwe jest istnienie pętli czasowych lub tuneli czasoprzestrzennych pozwalających dostać się do innych wymiarów, potrzebna jest nam teoria wszystkiego. Fizyka wehikułu czasoprzestrzennego zabiera nas w dziwną, lecz fascynującą podróż do zakrzywionych przestrzeni, wszechświatów równoległych oraz dziesięciu wymiarów.

Budowa pojazdu czasoprzestrzennego byłaby zgodna z prawami fizyki, pod warunkiem, że dałoby się wydrążyć w przestrzeni tunel lub dziurę. Aby lepiej zrozumieć efekt drażenia tuneli poprzez wymiary przestrzenne, weźmy kartkę papieru i *zaznaczymy* na niej dwa punkty, *A* i *B*. Na pytanie o najkrótszą drogę łączącą punkt *A* z punktem *B* odpowiadamy zwykle - linia prosta. Ale odpowiedź ta jest prawdziwa, jeżeli bierze się pod uwagę jedynie dwa wymiary (tzn. płaską powierzchnię kartki). Jeśli złożymy kartkę tak, żeby punkt *A* pokrywał się z punktem *B* i w to miejsce wbijemy szpilkę, tworząc niewielką dziurkę, to powstanie tunel - najkrótszy dystans między *A* i *B*.

Teraz weźmy dwie kartki papieru, połóżmy jedną na drugiej i zaznaczymy punkt *A* na jednej z nich, a na drugiej stronie w tym samym miejscu punkt *B*. Połączmy punkty *A* i *B*, przebijając obie kartki ("przestrzenie") szpilką w miejscu, w którym punkty się pokrywają. W ten sposób powstanie dziura. Mała mrówka biegająca po jednej kartce może przypadkowo wpaść w "tunel przestrzenny" i wylądować w innej przestrzeni, na powierzchni drugiej kartki. Zaskoczona mrówka nagle zdałaby sobie sprawę, że otworzył się przed nią zupełnie nowy "wszechświat". A to dlatego, że przeszła przez tunel, będący dziurą w przestrzeni.

Matematycy nazywają takie dziwne twory geometryczne przestrzeniami wielospójnymi. Rozważania nad spójnością zbiorów dostarczają paradoksów, zwykle godzących w nasze zdroworozsądkowe wyobrażenia o przestrzeni. Chociaż idea przestrzeni wielospójnych wydaje się dość dziwaczna, ich własności okazują się zgodne z logiką. Jeśli we Wszechświecie istnieją dziury, to powinny one łączyć jakieś podprzestrzenie.⁶⁵⁸

żelazo. Do powstania cięższych pierwiastków wchodzących w skład naszego organizmu potrzebne są temperatury bilionów stopni. Temperatury tego rzędu występują tylko podczas wybuchu supernowej. Zatem nasze Słońce jest w rzeczywistości gwiazdą powstałą z odpadów. Słońce oraz planety Układu Słonecznego narodziły się z popiołów, które pozostały po wybuchu gwiazdy supernowej.

⁶⁵⁸ Powierzchnię obu kartek możemy uważać za "przestrzeń", natomiast powierzchnię każdej kartki z osobna za

Większe grono czytelników po raz pierwszy zapoznało się z tunelami i dziurami przestrzennymi dzięki książce napisanej ponad sto lat temu przez pewnego matematyka z Oksfordu. Zdając sobie najprawdopodobniej sprawę z tego, że dorośli odbiorcy mogą z dezaprobatą odnieść się do koncepcji przestrzeni wielo-spójnych, napisał on książkę dla dzieci i posłużył się pseudonimem literackim. Matematykiem tym był Charles Dodgson, czyli Lewis Carroll, a książka nosiła tytuł *Po drugiej stronie lustra*.

Czarodziejskie lustro jest w rzeczywistości tunelem czasoprzestrzennym. Po jednej jego stronie można podziwiać malowniczy krajobraz okolic Oksfordu, po drugiej znajduje się Kraina Czarów. Przechodząc przez powierzchnię lustra, przez dziurę łączącą różne przestrzenie, bezboleśnie pozostawia się za sobą jeden świat i wkracza w inny. Oksford i Kraina Czarów, niby bliźnięta syjamskie, są połączone powierzchnią lustra.

Korzystając z takiego tunelu czasoprzestrzennego, moglibyśmy, przynajmniej teoretycznie, przeskoczyć odległości mierzone w latach świetlnych i dostać się do jakiegoś miejsca we Wszechświecie, pokonując przestrzeń szybciej niż światło i nie naruszając jednocześnie zasad teorii względności. Zauważmy, że nawet gdybyśmy wolno przechodzili przez powierzchnię lustra (żaden punkt naszego ciała nie musi poruszać się z prędkością światła), biorąc pod uwagę dystans przestrzenny między punktem wyjścia a punktem docelowym, okazałoby się, że pokonaliśmy tę odległość z prędkością większą niż prędkość światła.⁶⁵⁹

Lewis Carroll był matematykiem, a nie fizykiem i nie wiedział, czy jego pomysł da się zrealizować. Wszystko zmieniło się dopiero w 1915 roku, kiedy Einstein przedstawił swoją ogólną teorię względności. Nie jest z nią sprzeczne ani wydrążenie tuneli czasoprzestrzennych, ani zbudowanie wehikułu czasu.

U podstaw ogólnej teorii względności leży pojęcie krzywizny przestrzeni. Siły, których efekty działania obserwujemy, na przykład przyciąganie grawitacyjne, są w istocie iluzją wywołaną zakrzywieniem czasoprzestrzeni.

Jeśli umieścimy spory kamień na środku miękkiego łóżka, materac ugnie się pod jego ciężarem. Gdy pchniemy małą, lecz ciężką marmurową kulkę po powierzchni tego materaca, będzie się poruszała po torze zakrzywionym w kierunku kamienia. Patrząc z góry odniesiemy wrażenie, że kamień działa jakąś tajemniczą siłą na kulkę poruszającą się po zakrzywionej orbicie. Newton sądził, że na Ziemię działa tajemnicza siła, zwana grawitacją. (Zdawał sobie wszakże sprawę z

“podprzestrzeń”. Patrząc na nasz model jako na “przestrzeń”, możemy powiedzieć, że istnieje w niej dziura (taki zbiór z jedną dziurą nosi miano zbioru jednospójnego; jeśli będzie wiele dziur, przestrzeń będzie wielospójna). Spoglądając na nasz model jako na “przestrzeń” będącą sumą dwóch “podprzestrzeni”, możemy stwierdzić, że istnieje “tunel przestrzenny” pomiędzy tymi podprzestrzeniami. Mówiąc o dziurach i tunelach, Autor ma na myśli dziesięcio- lub więcej wymiarowy model jako właściwą przestrzeń naszego Wszechświata, a trójwymiarową przestrzeń, którą postrzegamy naszymi zmysłami, jako podprzestrzeń. Mrówka może stwierdzić, że znalazła się w “innej przestrzeni”, ale z naszego punktu widzenia przeszła ona tylko do innej “podprzestrzeni”, jeśli obie kartki uznamy za cały wszechświat mrówki” (przyp. tłum.).

⁶⁵⁹ Zgodnie ze szczególną teorią względności żaden obiekt nie może poruszać się szybciej niż światło. Ale teoria ta jest specjalnym przypadkiem ogólnej teorii względności. Według ogólnej teorii względności można przejść przez tunel czasoprzestrzenny i znaleźć się “po drugiej stronie Wszechświata”. W efekcie odbywamy w ten sposób podróż z prędkością większą niż światło. Jedynym ograniczeniem wynikającym ze szczególnej teorii względności jest to, że zbliżając się do wejścia do tunelu czasoprzestrzennego, nie możemy poruszać się z prędkością większą niż prędkość światła.

paradoksalnej sytuacji: Ziemi nic nie pcha, a ona jednak się porusza. Prace Newtona świadczą o tym, że bardzo niepokoiło go, iż nie potrafił tego paradoksu wytłumaczyć. Uważał to za największą słabość swojej teorii).

W rzeczywistości coś jednak powoduje, że orbita toczącej się kulki ulega zakrzywieniu. Otóż popycha ją zakrzywiona w kierunku kamienia powierzchnia materaca. Podobnie jest w przypadku Ziemi. To sama przestrzeń zakrzywia orbitę naszej planety w jej biegu dookoła Słońca. W ten sposób Einstein doszedł do przekonania, że grawitacja jest zdeterminowana strukturą czasoprzestrzeni, tzn. jest złudzeniem wywołanym zakrzywieniem czasoprzestrzeni.

Innymi słowy, nie latamy swobodnie w przestrzeni, lecz twardo stoimy na powierzchni Ziemi, gdyż nasza planeta ciasno zwija wokół naszych ciał czterowymiarowe kontinuum czasoprzestrzenne.

(Dokładniej, ogólna teoria względności oparta jest na zasadzie równoważności głoszącej, że prawa fizyki są lokalnie takie same zarówno w pewnym polu grawitacyjnym, jak i w jakimś układzie poruszającym się ruchem przyspieszonym. Ponieważ w takim układzie światło biegnie wzdłuż linii zakrzywionych, trajektoria promienia świetlnego powinna ulegać zakrzywieniu także w polu grawitacyjnym. Trajektoria promieni świetlnych określa - zgodnie z prawami optyki - geometrię przestrzeni, dlatego geometria ta musi być zakrzywiona przez grawitację. Tak więc grawitację można postrzegać jako wynik istnienia krzywizny przestrzeni).

Czarne dziury i tunele czasoprzestrzenne

Na prawdopodobnie najbardziej interesującą deformację przestrzeni i czasu natrafiamy w czarnych dziurach. Czarna dziura jest obiektem bardzo masywnym. Nawet światło nie wydostaje się z niej, gdyż nie może pokonać ogromnego ciężenia grawitacyjnego. Zważywszy, iż prędkość światła to największa możliwa prędkość, można uznać, że z czarnej dziury nic nie wyleci. Dotychczas za pomocą Kosmicznego Teleskopu Hubble'a lub naziemnych radioteleskopów odkryto w przestrzeni kosmicznej kilkanaście czarnych dziur. Leżą one w centrum masywnych galaktyk, takich jak M87 i NGC 4258, odległych o niemal 50 milionów lat świetlnych od Ziemi.

Czarne dziury są niewidoczne. Astrofizycy muszą więc korzystać z pośrednich sposobów ich identyfikacji. Otóż nasze przyrządy wykrywają ogromne kosmiczne huragany, wściekłe wiry gorących gazów kłębiące się wokół maleńkich jąder. Czułe instrumenty teleskopu krążącego ponad Ziemią odnotowały obecność wirów obiegających czarną dziurę z prędkością liniową sięgającą 1,5 miliona kilometrów na godzinę. W środku tego tajfunu znajduje się niewielka plamka, obiekt o średnicy około jednego roku świetlnego, którego masa jest równa masie miliona gwiazd. A w samym centrum umiejscowiona jest niewidoczna, wirująca czarna dziura.

Z pomocą praw Newtona można w przybliżeniu obliczyć masę wirującego obiektu, a dzięki temu i prędkość ucieczki z niego. Okazuje się, że prędkość ucieczki jest równa prędkości światła, więc nawet światło nie może pokonać przyciągania grawitacyjnego i wydostać się w przestrzeń.

Wręcz olśniewającego obrazu czarnych dziur dostarcza nam teoria zakrzywionej przestrzeni

sformułowana przez Einsteina. Aby ją wytłumaczyć, powróćmy do poprzedniej analogii. Jeśli kamień położony na środku materaca będzie się stawał coraz cięższy, zagłębienie się w prześcieradle i na powierzchni łóżka widoczny będzie tylko wlot do prowadzącego w głąb materaca leja. Gdyby taka gardziel była wystarczająco długa (jak w przypadku czarnej dziury), mogłaby się połączyć z odwróconą gardzielią z innego, równoległego wszechświata. Ten inny wszechświat istnieje po drugiej stronie czarnej dziury. W tamtym wszechświecie może się otworzyć biała dziura. Końcowa konfiguracja przypomina dwie równoległe płaszczyzny (spód i wierzch łóżka), połączone cylindrycznym tunelem.

Pomost łączący równoległe światy nazywany jest mostem Einsteina-Rosena. Sam Einstein nie przejmował się konsekwencjami istnienia tego pomostu. Wierzył, że każdy, kto okazałby się wystarczająco nierozsądny, by dać się wciągnąć do czarnej dziury, zostałby zmiażdżony w jej wnętrzu, gdyż krzywizna przestrzeni i pole grawitacyjne stają się tam nieskończone. Do końca życia odkrywca teorii względności był przekonany, że komunikacja pomiędzy dwoma światami jest niemożliwa.

Ale w 1963 roku matematyk Roy Kerr, jako pierwszy rozsądnie opisał wirowanie czarnej dziury. Dziura wirująca, zamiast zapaść się do punktu, jak by to zrobił jej stacjonarny odpowiednik, zapada się do obracającego się z wielką prędkością pierścienia. Fakt, że czarna dziura wiruje, ma więc decydujące znaczenie: siła odśrodkowa powstrzymuje pierścień przed zapadnięciem się do punktu.

Kerr dowiódł, że każdy, kto wpadłby do środka takiej dziury, wcale by nie zginął, jak powszechnie sądzono, ale przeszedł przez pierścień do innego, równoległego wszechświata. Dotknięcie wirującego pierścienia jest samobójstwem, ale przemieszczenie się przez niego niczym nie grozi. Inaczej mówiąc, dziura w przestrzeni - wirujący pierścień neutronów - jest odpowiednikiem ramy lustra, przez którą można przejść na drugą stronę. Włożenie ręki w środek wirującej czarnej dziury Kerr'a to jak wsunięcie jej w to lustro.⁶⁶⁰ Czarna dziura Kerr'a jest otworem łączącym jeden wszechświat z równoległym istniejącym, innym wszechświatem.

Od tego czasu fizycy znaleźli już setki konfiguracji tuneli czasoprzestrzennych. Obecnie uzasadnienie istnienia tunelu czasoprzestrzennego w fizycznym istniejącym Wszechświecie jest sprawą dość prostą.

Podróże w czasie

Einstein zauważył dziwne zachowanie się tworu, który dziś nazywamy pomostem Einsteina-Rosena. Ponadto zdawał sobie sprawę, że jego równania dopuszczają podróże w czasie. Ponieważ przestrzeń i czas są ze sobą nierozdzielnie zespolone, każdy tunel łączący dwa odległe obszary przestrzeni może być również pomostem dla dwóch domen czasowych.

Aby lepiej wyjaśnić kwestię podróży w czasie, przypomnijmy najpierw, że Newton sądził, iż upływ czasu przypomina ruch strzały. Strzała raz wypuszczona będzie poruszała się po linii

⁶⁶⁰ Wpadnięciu do czarnej dziury Kerr'a towarzyszy problem stabilności. Istnieje możliwość, że obiekt poruszający się w

prostej, nie zbaczając ze swojej drogi. Analogicznie czas w przestworzach nie odchyłałby się od swojego monotonnego marszu w przód. Sekunda na Ziemi trwałaby tyle samo co sekunda na Księżycu czy na Marsie.

Jednakże Einstein wprowadził pojęcie czasu, którego upływ przypomina nurt rzeki. Meandruje on we Wszechświecie, przyspiesza i zwalnia, kiedy przepływa przez pola grawitacyjne gwiazd lub planet. Sekunda na Ziemi nie odpowiada sekundzie na Księżycu czy Marsie. (W rzeczywistości zegar na Księżycu tyka nieco szybciej niż ten sam zegar na Ziemi).

Ponadto czas może przybierać postać zamkniętych wirów lub się rozdawać. W 1949 roku Kurt Godel, matematyk i współpracownik Einsteina z Instytutu Studiów Zaawansowanych w Princeton, wykazał, że gdyby Wszechświat był wypełniony wirującym płynem lub gazem, każdy znajdujący się w nim podróżnik zmierzający przed siebie miałby szansę powrócić do punktu, z którego wyszedł, ale okazałoby się wtedy, że został cofnięty w czasie. We wszechświecie Godla podróże w czasie byłyby więc możliwe.

Einsteina głęboko niepokoiła możliwość istnienia wspomnianego wyżej pomostu oraz wehikułu czasu Godla, gdyż mogło to oznaczać, że jego teoria grawitacji zawiera poważny błąd. Ostatecznie Einstein doszedł jednak do wniosku, że oba przypadki można wyeliminować z powodów fizycznych. Uznał, iż każdy, kto wpadnie do tunelu Einsteina-Rosena, zginie, Wszechświat zaś nie kręci się, lecz rozszerza zgodnie z teorią Wielkiego Wybuchu. Z matematycznego punktu widzenia tunele czasoprzestrzenne i wehikuły czasu są absolutnie zgodne z teorią, ale nie mogą istnieć z powodów fizycznych.

Tymczasem po śmierci Einsteina odkryto, że wiele sformułowanych przez niego równań ma rozwiązania, które zezwalają na istnienie wehikułów czasu i tuneli czasoprzestrzennych. Fizycy zaczęli więc poważniej podchodzić do tego problemu. Poza obracającym się wszechświatem Godla i wirującą czarną dziurą Kerra pojawiły się inne konfiguracje dopuszczające podróż w czasie: nieskończony obracający się cylinder, zderzające się ze sobą struny i ujemna energia.

Zaakceptowanie realności wehikułu czasu pociąga za sobą wiele delikatnych kwestii związanych z pojęciem przyczyny i skutku, czyli paradoksów czasowych. Gdyby na przykład myśliwy wybrał się w podróż w przeszłość, aby zapolować na dinozaury, i podczas wyprawy nieopatrznie rozdeptał jakieś wyglądające na gryzonia stworzenie, które w rzeczywistości było dalekim przodkiem wszystkich ludzi, czy myśliwy zniknie? A gdyby ktoś cofnął się w czasie i zastrzelił swoich rodziców przed własnymi narodzinami, czy wykluczałoby to jego istnienie?

Jeszcze inny paradoks wiąże się z problemem uzupełnienia przeszłych zdarzeń. Przyjrzyjmy się młodemu wynalazcy, który biedzi się właśnie nad zbudowaniem wehikułu czasu. Nagle zjawia się nieznamy starszy pan i proponuje mu, że ujawni tajemnicę podróży w czasie. Wręcza plany wehikułu czasu, zastrzegając, że kiedy młodzieniec się postarzeje, musi powrócić w przeszłość i przekazać sobie tajemnicę wehikułu czasu. Nasuwa się zatem pytanie: skąd pochodzi rozwiązanie zagadki podróży w czasie?

metryce Kerra spowoduje zamknięcie się dziury.

Może się okazać, że wyjaśnienie tych wszystkich paradoksów tkwi w mechanice kwantowej.

Problemy z tunelami czasoprzestrzennymi i wehikulami czasu

Chociaż teoria Einsteina dopuszcza istnienie wehikułu czasu oraz tuneli czasoprzestrzennych, nie oznacza to, że można je zbudować.

Po pierwsze, energii wymaganej do stworzenia takich anomalii czasoprzestrzennych nie da się osiągnąć w warunkach ziemskich. Mowa tu o energii mierzonej w skali Plancka, czyli 10^{19} miliardów elektronowoltów (10^{28} eV). Jest ona o wiele rzędów wielkości większa od energii, której dostarczałby nadprzewodzący superakcelerator (jego budowy niedawno zaniechano). Innymi słowy, tunele czasoprzestrzenne i wehikuly czasu mogłyby się znaleźć w zasięgu możliwości jedynie zaawansowanych cywilizacji typu I lub II, gdyż będą one potrafiły wytwarzać energię miliardy razy większą niż ta, którą dysponujemy dzisiaj.

(Myśląc o tym wszystkim, wyobrażam sobie, jak musiał się czuć Newton trzy wieki temu. Mógł obliczyć prędkość, z którą należy zacząć podróż, by dotrzeć do Księżyca, czyli prędkość ucieczki. Na Ziemi wartość prędkości ucieczki wynosi 40 tysięcy kilometrów na godzinę. Uświadommy sobie jednak, z jakimi pojazdami miał do czynienia Newton w XVII wieku. Z końmi i powozami. Tak duża prędkość wykraczała więc poza granice jego wyobraźni. Dzisiaj my, fizycy, wyliczamy deformacje czasu i przestrzeni, które mogą się pojawić w skali energii Plancka. A czym dysponujemy? Nasze "konie i powozy", czyli bomba wodorowa i rakiety, nie mogą osiągnąć energii Plancka).

Inna możliwość tkwi w wykorzystaniu ujemnej materii (to nie to samo, co antymateria). Należy jednak podkreślić, że nikt jeszcze nie widział tej dziwnej formy materii.⁶⁶¹ Gdyby się udało skoncentrować w jednym miejscu wystarczająco dużo ujemnej materii, być może utworzylibyśmy dziurę w przestrzeni. Od dłuższego czasu dopuszczano możliwość występowania ujemnej masy i ujemnej energii. Ale dopiero niedawno, za pomocą metod mechaniki kwantowej, dowiedziono, że ujemna energia rzeczywiście istnieje. Mechanika kwantowa mówi nam, że jeśli umieścimy w próżni, w niewielkiej odległości od siebie, dwie równoległe, nie naładowane płaszczyzny metalowe, to próżnia między nimi wcale nie będzie pustką. Okazuje się, że "pienią się" tam ustawicznie rodzące się i natychmiast anihilujące pary elektron-antyelektron. Ta kwantowa aktywność próżni wywołuje ostatecznie "efekt Casimira" - przyciąganie się obojętnych elektrycznie płaszczyzn metalu. Jeśli udałoby się znacznie wzmocnić efekt Casimira, skonstruowanie najprostszego wehikułu czasu stałoby się prawdopodobne.

Rozważano stworzenie układu dwóch podwójnych metalowych płaszczyzn Casimira. Ten, kto znalazłby się między płytami jednego zestawu, w okamgnieniu zostałby przeniesiony pomiędzy drugą parę płaszczyzn. Jeśli zestawy płyt rozsunięto by w przestrzeni, można by ich użyć do skonstruowania tunelu czasoprzestrzennego. Gdyby natomiast zostały rozsunięte w czasie, układ służyłby jako wehikuł czasu.

Teorie te napotykają jednak niezwykle poważną przeszkodę. Otóż cała konstrukcja może się

⁶⁶¹ Antymateria, której cząstki elementarne mają jedynie przeciwny (w stosunku do cząstek materii) znak ładunku

okazać fizycznie niestabilna. Niektórzy fizycy uważają, że działające na tunel czasoprzestrzenny siły kwantowe mogą go destabilizować, co spowodowałoby zamknięcie wejścia do niego. Ponadto promieniowanie wydobywające się z gardzieli tunelu może być tak intensywne, że w momencie gdy zbliżymy się do wejścia, albo nas ono zabije, albo zamknie owo wejście. W wyjaśnieniu tej kwestii nie pomogą nam równania Einsteina. Stają się one bezużyteczne w chwili, kiedy wchodzimy do tunelu. Efekty kwantowe zaczynają wówczas górować nad grawitacją.

Usiłując znaleźć rozwiązanie problemu poprawek kwantowych w fizyce tunelu czasoprzestrzennego, wchodzimy na zupełnie nowy teren. Ostatecznie może się okazać, że do wyjaśnienia wszystkich zagadek związanych z istnieniem tunelu czasoprzestrzennego, wehikułu czasu i grawitacji kwantowej potrzebna będzie tzw. teoria wszystkiego. Niewykluczone, że teoria kwantowa da nam odpowiedź na pytanie: czy tunele są rzeczywiście stabilne, oraz rozstrzygnie paradoksy podróży w czasie. Ale wymaga to zrozumienia czterech fundamentalnych sił przyrody.

Ku teorii wszystkiego

Jednym z największych osiągnięć współczesnej nauki jest odkrycie czterech podstawowych sił przyrody: grawitacji (która utrzymuje razem systemy planetarne i galaktyczne), elektromagnetyzmu (jego przejawami są fale radiowe, telewizyjne, światło, mikrofały itd.), słabej siły jądrowej (rządzącej radioaktywnym rozpadem pierwiastków) oraz silnego oddziaływania jądrowego (dzięki któremu istnieje Słońce i inne gwiazdy we Wszechświecie).

Zrozumienie podstawowych równań opisujących te siły leży u podstaw wielu przewidywań przedstawionych w tej książce. W gruncie rzeczy, gdyby wszystkie te równania zapisać drobną czcionką, zajęłyby tylko jedną stronę. Zdziwiająco, że całą wiedzę fizyczną na poziomie fundamentalnym da się wydedukować na podstawie tak krótkiego tekstu.

Prawdziwym ukoronowaniem ostatnich dwóch tysięcy lat nauki byłaby teoria wszystkiego. Jednym zwięzłym równaniem zajmującym nie więcej niż parę centymetrów podsumowałaby te cztery siły. Einstein spędził ostatnie trzydzieści lat życia na bezowocnych jej poszukiwaniach. To on pierwszy zwrócił uwagę na unifikację, chociaż nie udało mu się jej dokonać.

Teoria wszystkiego byłaby pożądana nie tylko z powodów filozoficznych i estetycznych. Dzięki niej powiązilibyśmy w całość różne obszary fizyki. Pomogłaby również odpowiedzieć na najbardziej dręczące pytania fizyki: czy tunele czasoprzestrzenne rzeczywiście istnieją? Czy można zbudować wehikuł czasu? Co dzieje się we wnętrzu czarnej dziury i skąd się wziął Wszechświat? Jak to ujął wielki kosmolog Stephen Hawking, teoria ta umożliwiłaby nam odczytanie zamysłu Boga.

Jednolita teoria wyjaśniłaby problemy skali energii oraz dynamiki koniecznej do manipulowania potęgą przestrzeni i czasu. Dojrzałe cywilizacje pierwszego lub drugiego typu, rozporządzające energią miliardy razy większą od uzyskiwanej przez nas, mogłyby się stać władcami czasu i przestrzeni. My możemy jedynie marzyć o stworzeniu dziury w przestrzeni albo o skoku w

elektrycznego, w polu grawitacyjnym również spada w dół, a nie do góry.

dziesiąty wymiar. Ale dla zaawansowanej cywilizacji, istniejącej być może gdzieś w kosmosie, dokonanie tego nie jest niczym nadzwyczajnym.

Teoria wszystkiego mogłaby również wyjaśnić wspomniane wcześniej paradoksy czasu. Jeśli potrafilibyśmy kontrolować i stabilizować fluktuacje kwantowe wokół tunelu czasoprzestrzennego, można by wrócić do przeszłości i zmienić bieg wydarzeń. Jednocześnie wkroczylibyśmy jednak do innego kwantowego wszechświata. Czas rozdzieliłby się na dwie odnogi, a każda z nich wpływałaby do innego świata. Jeśli wrócilibyśmy do teatru, aby uratować Abrahama Lincolna, wtedy w jednym ze światów prezydent Stanów Zjednoczonych ocalałby, a kierunek czasu uległ zmianie, ale nasz świat pozostałby taki, jaki był. Przeszłości nie da się zmienić. Możemy jedynie ocalić życie kwantowego sobowtóra Lincolna w równoległym, kwantowym wszechświecie. Jak widać, wszystkie paradoksy przedstawiane w książkach fantastycznonaukowych można wytłumaczyć za pomocą mechaniki kwantowej.

Dwa skrajne przeciwieństwa

Einstein powiedział kiedyś: "Natura jest jak lew, który pokazuje nam tylko ogon. Ale nie mam wątpliwości, że na końcu tego ogona znajduje się lew, chociaż nie można go objąć wzrokiem, bo jest zbyt wielki".

Mówiąc o ogonie lwa, Einstein myślał o postrzeganym przez nas Wszechświecie. Sam lew symbolizował osławioną zunifikowaną teorię pola, której majestatu my, ludzie o słabym umyśle, nie potrafimy dostrzec.

Obecnie ogon lwa reprezentują dwie teorie: mechanika kwantowa (która opisuje siły elektromagnetyczne, słabe i silne) oraz ogólna teoria względności (opisująca grawitację). Największe umysły XX wieku, fizycy tacy jak Einstein, Heisenberg, Pauli, usiłowali opracować zunifikowaną teorię pola. Lecz próby te zakończyły się niepowodzeniem. Te dwie teorie opierają się na zupełnie innych założeniach, różnych równaniach oraz odmiennych obrazach świata.

W ciągu ostatnich pięćdziesięciu lat między ogólną teorią względności a mechaniką kwantową toczyła się zimna wojna. Każda z nich, rozwijając się niezależnie, osiągała ogromne sukcesy, dopóki nie wykraczała poza swoje granice. Gdy jednak próbujemy wyjaśnić to, co nastąpiło w chwili Wielkiego Wybuchu i co dzieje się we wnętrzu czarnej dziury, dochodzi do zderzenia obu teorii. W tych dwóch przypadkach siły grawitacyjne są tak wielkie, a temperatury na tyle wysokie, że powodują rozerwanie nawet cząstek elementarnych. Wobec tak olbrzymiej energii teoria Einsteina staje się bezużyteczna i z pomocą może przyjść jedynie teoria kwantowa. Można obliczyć temperaturę, w której efekty kwantowe zaczynają górować nad zjawiskami przewidzianymi przez ogólną teorię względności. Wartość tej temperatury wynosi 10^{38} kelwinów, czyli biliard bilionów razy więcej niż w centrum wybuchu bomby wodorowej.

W gruncie rzeczy te dwie teorie - mechanika kwantowa i ogólna teoria względności - wydają się sobie przeczyć. Trudno jednak uwierzyć, żeby natura stworzyła Wszechświat, w którym lewa ręka nie pasuje do prawej.

Ogólna teoria względności daje nam znakomity opis grawitacji i makrokosmosu, świata galaktyk, czarnych dziur oraz rozszerzającego się Wszechświata. Jest to wspaniała teoria grawitacji, bazująca na obrazie gładkich, zakrzywionych przestrzeni. Siły pojawiają się w niej jako wynik zdeformowania przestrzeni i czasu. Obiekt odczuwa działanie siły, gdyż porusza się w zakrzywionej czasoprzestrzeni.

Ogólna teoria względności ma jednak poważne braki. Nie potrafi wyjaśnić procesów zachodzących we wnętrzu czarnej dziury lub w chwili Wielkiego Wybuchu, w sytuacjach, które odpowiadają nieskończonej krzywiznie czasoprzestrzeni.

Podobnie jest z mechaniką kwantową. Daje nam ona niemal wyczerpujący opis mikrokosmosu, świata ulotnych cząstek elementarnych. Podstawą mechaniki kwantowej jest założenie, że siła powstaje dzięki wymianie małych, odosobnionych porcji energii, zwanych kwantami. Teoria kwantowa zastępuje piękny, geometryczny obraz teorii względności czymś przeciwnym: maleńkimi pakietami energii. Na przykład kwant światła nazywany jest fotonem. Kwant słabego oddziaływania jądrowego to bozon W , a kwant oddziaływania silnego - gluon. Każda siła ma swój własny kwant przenoszący oddziaływanie.

Najbardziej zaawansowana postać mechaniki kwantowej nosi nazwę Modelu Standardowego. Opiera się on na dziwnym, pstrokatym zbiorze cząstek elementarnych o obco brzmiących nazwach. (W latach pięćdziesiątych w cyklotronach odkryto tyle cząstek elementarnych, że fizycy zaczęli wręcz tonąć w oceanie danych. W przyпіlywie rozpaczy Robert J. Oppenheimer, który wcześniej kierował projektem budowy bomby atomowej, oświadczył, że następną Nagrodę Nobla powinien dostać fizyk, który przez cały rok nie odkryje żadnej cząstki elementarnej).

Model Standardowy pomógł ograniczyć liczbę różnych cząstek elementarnych, sprowadzając wszystko do poziomu kwarków, bozonów W i Z , gluonów, cząstek Higgsa, elektronów i neutrin. Obecnie uważany jest za najdoskonalszą teorię fizyczną wszech czasów, teorię odtwarzającą naturę z dokładnością miliardowej części po przecinku.

Niemniej podobnie jak ogólna teoria względności, Model Standardowy ma pewne luki. Teoria ta zawiera 19 liczb (na przykład masy kwarków, elektronów, neutrin oraz stałe mierzące intensywność oddziaływań między tymi cząstkami), które są stałymi dowolnymi. Posługując się Modelem Standardowym nie wyjaśniamy, dlaczego w przyrodzie istnieją trzy generacje rodziny kwarków. Ta niemożliwa obecnie do wytłumaczenia rozrzutność natury jest wysoce niepokojąca. Model Standardowy to jednocześnie teoria sprawiająca największe kłopoty. Wśród cząstek brakuje porządku. To tak, jakby posklejać ze sobą dziką świnię, wieloryba i żyrafę i nazwać to najwspanialszym stworzeniem istniejącym na Ziemi, końcowym produktem milionów lat ewolucji. Co więcej, model ten nie odnosi się do kwestii grawitacji.

Niestety, wszelkie próby połączenia tych dwu teorii zakończyły się fiaskiem. Na przykład, w naiwnej kwantowej teorii grawitacji pole grawitacyjne można podzielić na małe porcje energii grawitacyjnej, zwane grawitonami. Lecz spotkanie grawitonów powoduje, że w teorii pojawiają się nieskończoności i staje się ona rozbieżna. Zatem forsowanie zespolenia obu teorii jest całkowicie

bezużyteczne. W ciągu ostatnich pięćdziesięciu lat właśnie problem nieskończoności obracał wniwecz wszelkie próby wielkiej unifikacji.

Superstruny

Wielu czołowych fizyków jest głęboko przekonanych, że teoria wszystkiego istnieje. Steven Weinberg, laureat Nagrody Nobla, porównuje tę sytuację do historii odkrycia bieguna północnego. W XIX wieku żeglarze zdawali sobie sprawę, że linie, wzdłuż których ustawia się wskazująca kierunek północny igła kompasu, muszą się przecinać w jednym punkcie. Bez względu na to, gdzie się znajdowali, igła kompasu zawsze wskazywała istnienie tego wręcz baśniowego punktu, zwanego biegunem północnym. Jednakże punkt ten faktycznie osiągnięto dopiero na początku XX wieku. Weinberg tak podsumował swoje rozważania: "Jeśli historia jest jakimkolwiek przewodnikiem, to ten przypadek sugeruje, że teoria ostateczna istnieje".⁶⁶²

Jedyną teorią, która potrafi poradzić sobie z problemem nieskończoności, jest teoria superstrun w przestrzeni dziesięcio-wymiarowej. Fizycy aż oniemieli z zachwytu, gdy się pojawiła. Matematyków wręcz zachwycała nadzwyczaj eleganckim, geometrycznym sformułowaniem. Zarówno Weinberg, jak i twórca modelu kwarków Murray Gell-Mann, również laureat Nagrody Nobla z fizyki, zgadzają się ze sobą w tym punkcie. Gell-Mann powiedział kiedyś: "Teoria superstrun jest znakomitą kandydatką na zunifikowaną teorię wszystkich cząstek elementarnych oraz oddziaływań między nimi, włączając w to grawiton".⁶⁶³

Jak stwierdził Einstein, wszystkie wielkie teorie opierają się na prostych wyobrażeniach fizycznych. Zatem jeśli u podstaw teorii fizycznej nie ma prostego obrazu fizycznego, prawdopodobnie jest ona bezwartościowa. Na szczęście teoria superstrun spełnia kryterium wielkości.

Po pierwsze, superstruny drgają tak, jak struny skrzypiec. Wiadomo, że wydawane przez strunę skrzypcową dźwięki A, G czy C są czymś elementarnym. W ich powstawaniu fundamentalną rolę odgrywa sama struna. Superstruna również może być źródłem "dźwięków" lub "rezonansów". Każde jej drganie jest równoważne jakiejś cząstce elementarnej z tego zbiorowiska różnorodnych cząstek, którymi jesteśmy otoczeni - kwarkowi, elektronowi, neutrinu itd. Superstruny dostarczają nam więc prostego opisu, na podstawie którego rzeczywiście można wywnioskować, dlaczego postrzegamy taką różnorodność cząstek elementarnych. W gruncie rzeczy powinno być nieskończenie wiele cząstek, tak jak istnieje nieskończona liczba drgań struny skrzypiec.

Gdybyśmy dysponowali jakimś supermikroskopem, okazałoby się, że pojedynczy elektron, który wydaje się nam cząstką punktową, jest w rzeczywistości maleńką wibrującą struną. Struna drgająca z inną częstotliwością staje się inną cząstką. Według tej koncepcji prawa fizyki są po prostu harmonią superstrun. Wszechświat - to symfonia wibrujących strun. (W pewnym sensie teoria ta spełniłaby marzenia pitagorejczyków, którzy jako pierwsi zrozumieli prawa harmonii rządzące

⁶⁶² Steven Weinberg: *Sen o teorii ostatecznej*. Wydawnictwo ALKAZAR, Warszawa 1994, s. 231.

⁶⁶³ Wywiad z Murrayem Gell-Mannem. Zobacz również John Brockman: *The Third Culture*. Simon & Schuster, Nowy Jork 1995, s. 256.

czystymi dźwiękami struny. Podejrzewali oni również, że cały Wszechświat powinno się dać wytłumaczyć za pomocą reguł harmonii. Aż do dziś nie było jednak wiadomo, jak tego można dokonać).

Po drugie, teoria superstrun zawiera w sobie teorię grawitacji Einsteina. Poruszająca się w przestrzeni i w czasie struna zmusza otaczające ją kontinuum czasoprzestrzenne do zakrzywienia dokładnie w taki sposób, jak to przewidział Einstein. Tak więc teoria strun w naturalny sposób implikuje takie wnioski ogólnej teorii względności, jak istnienie czarnych dziur czy rozszerzanie się Wszechświata.

Dziesiąty wymiar

Jednym z najciekawszych koncepcyjnie (ale również najbardziej kontrowersyjnych) aspektów teorii superstrun jest sformułowanie jej w dziesięciowymiarowej czasoprzestrzeni. W rzeczywistości jest to jedyna teoria naukowa, która sama wybiera sobie odpowiedni wymiar czasoprzestrzeni.

Sformułowanie teorii w hiperprzestrzeni jest optymalnym sposobem uwzględnienia w niej kolejnych oddziaływań. Matematyk, Theodor Kaluza, już w 1919 roku zdał sobie sprawę, że jeśli do czterowymiarowej teorii grawitacji Einsteina doda się piąty wymiar, to piąta składowa grawitacji odtworzy siły elektromagnetyczne Maxwella. Jak widać, niedostrzegalny piąty wymiar wiąże się z własnościami światła. I podobnie, dodając kolejne wymiary, możemy dołączać coraz to nowe siły, takie jak silne i słabe oddziaływanie jądrowe.

Aby sobie uzmysłwić, jak mocno dodawanie wyższych wymiarów jednoczy fundamentalne siły przyrody, posłużymy się analogią. Dotyczy ona sposobów prowadzenia walki przez starożytnych Rzymian. Wiadomości przekazywane pomiędzy oddziałami nacierającymi w różnych kierunkach na polu walki przenosili kurierzy. Przeptyw informacji był więc niesłychanie chaotyczny. To właśnie dlatego dowódcy rzymscy "wyszli w hiperprzestrzeń", tzn. w trzeci wymiar, ustawiając posterunki obserwacyjne na szczytach wzgórz. Z górującego nad płaskim terenem wierzchołka wzgórza roztaczał się widok na kilka rejonów walki. Dostarczał spójnego obrazu bitwy. I podobnie w fizyce, z górującego nad innymi punktu widzenia w dziesiątym wymiarze można spojrzeć w dół i dostrzec, jak cztery fundamentalne siły składają się na jedną tylko supersiłę.

Ostatnio odnotowuje się wzmożoną aktywność w badaniach nad jedenastym wymiarem. Edward Witten z Instytutu Studiów Zaawansowanych w Princeton i Paul Townsend z Uniwersytetu w Cambridge wykazali, że wiele niejasności związanych z teorią superstrun staje się zrozumiałymi po sformułowaniu teorii w jedenastu wymiarach. Witten nazwał to podejście M-teorią. (Ponieważ fizycy nie do końca rozumieją wszystkie aspekty tej teorii, znaczenie owego "M" można sobie tłumaczyć na różne sposoby. Może to być "misterium", "magiczna" lub "membrana").

Znaleziono co prawda miliony rozwiązań równań teorii M, ale żadne z nich nie pasuje dokładnie do znanego spektrum cząstek - kwarków, gluonów, neutrin itd. Wielu uczonych załamywało ręce nad tym, że trzeba będzie znaleźć wszystkie rozwiązania w teorii strun, aby odkryć wśród nich

istnienie naszego Wszechświata. Okazało się jednak, że sprawa nie wygląda tak beznadziejnie. W teorii M występuje nowy rodzaj symetrii, zwany dualnością. Symetria ta pozwala znaleźć rozwiązania, które poprzednio były nieosiągalne (nazywane są one również rozwiązaniami nieperturbacyjnymi). Prawdopodobnie nasz fizyczny Wszechświat jest jednym z takich rozwiązań nieperturbacyjnych.

Redukując teorię M do ośmiu wymiarów, fizykom udało się już podać niemal kompletny zbiór światów, które mogłyby istnieć w ośmiowymiarowej przestrzeni. Trwają wyężone prace nad analizą możliwych światów sześciowymiarowych. Znalezienie wszystkich czterowymiarowych projekcji światów oraz sprawdzenie, czy nasz świat jest którymś z nich, wymaga kolejnych lat intensywnych badań.

Jednym z zadziwiających wyników sformułowanej w jedenastu wymiarach teorii M jest to, że dopuszcza ona istnienie innych egzotycznych obiektów - membran. Wydaje się obecnie, że w hiperprzestrzeni struny współistnieją z różnymi rodzajami membran.

Wszystkie te najnowsze odkrycia wywołują wielkie zainteresowanie teorią superstrun.

Co się zdarzyło przed Wielkim Wybuchem?

Dzięki kwantowej teorii grawitacji dowiemy się, co dzieje się we wnętrzu czarnej dziury. Uzyskamy również odpowiedź na pytanie, co się zdarzyło przed Wielkim Wybuchem.

Obecnie dysponujemy niezbitymi dowodami na to, że około 15 miliardów lat temu wydarzył się kataklizm, eksplozja, w wyniku której Wszechświat zaczął się rozszerzać. Dziś obserwujemy to jako ucieczkę galaktyk. Już kilkadziesiąt lat temu fizyk George Gamow oraz jego współpracownicy przewidzieli, że w przestrzeni powinno istnieć echo lub poświata wywołana błyskiem Wielkiego Wybuchu. Temperatura promieniowania tej poświaty byłaby bliska zeru absolutnemu. Ale dopiero w 1992 roku satelita *COBE* (*Cosmic Background Explorer*) wychwycił ślady echa Wielkiego Wybuchu. Fizycy byli dumni z faktu, że setki danych obserwacyjnych zgadzały się z przewidywaniami teorii. Satelita *COBE* odkrył istnienie mikrofalowego promieniowania tła wypełniającego całą przestrzeń Wszechświata. Okazało się, że temperatura tego promieniowania wynosi około 3 kelwinów.⁶⁶⁴

Chociaż teorię Wielkiego Wybuchu potwierdzono doświadczalnie, pewna niepokojąca cecha teorii Einsteina pozostała niewyjaśniona. Otóż jej równania nic nie mówią o tym, co się działo przed Wielkim Wybuchem lub jakie były jego przyczyny.⁶⁶⁵ Z teorii Einsteina można się jedynie

⁶⁶⁴ W rzeczywistości mikrofalowe promieniowanie tła zostało odkryte w roku 1964 przez Arno Penziasa i Roberta Wilsona. Za to odkrycie zostali oni uhonorowani Nagrodą Nobla. Satelita *COBE* przeprowadził bardzo dokładne pomiary parametrów promieniowania tła i odkrył w nim fluktuacje przewidziane przez teorię powstawania galaktyk (przyp. red.).

⁶⁶⁵ Niektórzy dziennikarze usiłowali niedawno podważyć teorię Wielkiego Wybuchu, posługując się argumentem "grudkowatości" Wszechświata, co świadczy jedynie o ich niezrozumieniu fizyki. Dane otrzymane dzięki pomiarom przeprowadzonym przez aparaturę satelity *COBE* wskazują, że Wielki Wybuch był eksplozją przebiegającą zadziwiająco równomiernie. Jednakże dzisiejszy Wszechświat, z jego galaktykami pogrupowanymi w supergromady i olbrzymimi pustkami pozostawionymi w przestworzach, wydaje się strukturą dość nieregularną. Przypuszcza się, że grudkowatość (a właśnie ta własność jest powodem krytyki teorii Wielkiego Wybuchu) Wszechświata zaczęła objawiać się około miliarda lat po Wielkim Wybuchu, co w tych skalach czasu jest bardzo krótkim okresem. Dokładna analiza danych zebranych przez *COBE* wskazuje na istnienie niewielkich fluktuacji, zgodnych z obrazem fluktuacji kwantowych, w początkowych stadiach Wielkiego Wybuchu. Istnienie tych fluktuacji jest wystarczającym powodem do wyjaśnienia

dowiedzieć, że Wszechświat był początkowo punktem, osobliwością, w której istniała nieskończona gęstość. Jest to fizycznie niemożliwe.

Osobliwości tego typu nie istnieją w naturze. Przeto ostatecznie kwantowa teoria grawitacji powinna naprowadzić nas na trop przyczyn Wielkiego Wybuchu.

Teoria superstrun, całkowicie wolna od nieskończoności, daje nam wgląd w erę przed Wielkim Wybuchem. Zgodnie z tą teorią Wszechświat w momencie powstania przypominał nieskończone małą banieczkę w dziesięciowymiarowej przestrzeni. I niby bańka mydlana rozpadł się na sześci- i cztero-wymiarowe bąbelki. Wszechświat sześciowymiarowy nagle się zapadł. Eksplozja określana mianem Wielkiego Wybuchu spowodowała ekspansję czterowymiarowego Wszechświata.

Co więcej, ożywienie wywołane możliwością skwantowania grawitacji sprzyja rozwojowi nowej gałęzi fizyki, zwanej kosmologią kwantową. Badania w tej dziedzinie polegają na próbach zastosowania mechaniki kwantowej do Wszechświata jako całości. Na pierwszy rzut oka wydaje się, że sama nazwa "kosmologia kwantowa" zawiera sprzeczność. Wszak słowo "kwantowa" odnosi się do czegoś niezwykle małego, natomiast znaczenie terminu "kosmologia" ma związek z całym, ogromnym Wszechświatem. Jednakże w chwili powstania Wszechświat był tak mały, że dominowały wówczas właśnie efekty kwantowe.

Kosmologia kwantowa opiera się na założeniu, że Wszechświat to obiekt kwantowy, taki jak elektron. Zgodnie z prawami mechaniki kwantowej, elektron może istnieć jednocześnie w kilku różnych stanach energii, na wielu orbitach lub na wielu poziomach energetycznych. Przyjmując zatem zasadę nieoznaczoności Heisenberga, nigdy dokładnie nie wiemy, gdzie znajduje się elektron. W tym samym momencie może się pojawiać w wielu "stanach równoległych".

Przypuśćmy, że Wszechświat jest podobny do elektronu. W związku z tym jeśli zostanie skwantowany, powinien zaistnieć jednocześnie jako kilka "światów równoległych". Gdy dopuścimy możliwość skwantowania Wszechświata, jesteśmy zmuszeni zaakceptować, że może on pojawić się w formie zbioru równoległych stanów kwantowych. Spojrzenie na Wszechświat przez pryzmat tych wyobrażeń tworzy obraz Multikosmosu czy też Metawszechświata.

Metawszechświat

Zgodnie z tą wizją, na początku nie było Nic. Ani przestrzeni, ani czasu, ani materii, ani energii. Ale była zasada kwantowa, według której powinna istnieć niepewność, nieoznaczoność, dzięki której nawet Nic staje się niestabilne i mogą się zacząć tworzyć maleńkie cząstki Czegoś.

Wyobraźmy sobie, przez analogię, wrzenie wody, które jest typowym efektem kwantowomechanicznym. W chwili osiągnięcia przez wodę temperatury wrzenia w nieruchomej i przejrzystej cieczy pojawiają się, jakby znikąd, bąble pary i wkrótce wypełniają całą objętość gotującego się płynu. Podobnie zaczyna wrzeć Nic. Bąble powstają nagle i szybko się

obecnej niejednorodności Wszechświata. Inaczej mówiąc, obserwowany rozkład galaktyk, włącznie z naszą Drogą Mleczną, jest prawdopodobnie prostą konsekwencją opisywanych teorią kwantową zjawisk towarzyszących Wielkiemu Wybuchowi.

rozprzestrzeniają. Każdy bąbel reprezentuje cały wszechświat, odrębny kosmos. Terminu "Metawszechświat" używamy na określenie nieskończonej liczby światów. W obrazie tym nasz Wszechświat to tylko jeden z tych bąbli, a jego początkowa ekspansja nazywana jest Wielkim Wybuchem.

Na pierwszy rzut oka wydaje się, że powstanie bąbli Czegoś w oceanie Niczego narusza zasadę zachowania materii i energii. Jest to jednak złudzenie, ponieważ suma materii i energii Wszechświata jest dodatnia, natomiast całkowita energia grawitacyjna - ujemna. Suma tych dwu wielkości daje więc zero. Nie potrzeba zatem żadnego wydatku energii, aby stworzyć Wszechświat z Niczego!⁶⁶⁶

Różni fizycy przystosowywali ten obraz do własnych wyobrażeń.

Kosmolog, Stephen Hawking, uważa, że z tej nieskończonej liczby wszechświatów nasz Wszechświat jest najbardziej prawdopodobnym. W obrazie tym współlistniejemy z nieskończonym morzem innych bąbli (które Hawking nazywa wszechświatami potomnymi, czyli przyrodnym rodzeństwem naszego Wszechświata), ale nasz Wszechświat jest wyróżniony. Hawking uważa, że wszystkie wszechświaty potomne połączone są nieskończoną siecią wąskich tuneli czasoprzestrzennych. (Wprowadzenie tych tuneli pozwala mu przedstawić argumenty, dlaczego nasz Wszechświat jest tak stabilny). Tunele są jednak niezwykle wąskie, tak więc nie musimy się martwić, że wpadniemy do któregoś z nich i znajdziemy się nagle w innym wszechświecie.

Również Stevenowi Weinbergowi idea Metawszechświata wydaje się interesująca: "To niezwykle intrygujący obraz i sądzę, że na pewno warto się nad nim zastanowić na serio. Najistotniejszy jest wniosek, że nie było żadnego początku, że pojawiały się tylko coraz silniejsze wybuchy i że [Metawszechświat] był i będzie zawsze - nie trzeba się zmagać z pytaniem, co się działo przed Wielkim Wybuchem. Metawszechświat istniał po prostu od zawsze. Uważam, że to bardzo udana wizja".

(Teoria Metawszechświata wydaje się łączyć judeochrześcijańską ideę genesis, która mówi o określonym początku, z buddyjską nirwaną, w której świat istnieje poza i ponad czasem. W obrazie tym genesis dzieje się ciągle w ramach nirwany).

Jednakże Weinberg sądzi, że wiele równoległych wszechświatów wymarło, tzn. że proton nie był w nich stabilną cząstką elementarną, zatem nie mogła pojawić się stabilna forma materii czy DNA. Chociaż wszystkie bąble reprezentowały zdolne do istnienia wszechświaty, większość z nich nie budzi naszego zainteresowania. Przeważająca część wszechświatów, składając się jedynie z morza elektronów i neutrin, nie przyjęła postaci stabilnej materii.

Korzyścią płynącą z tego prostego obrazu jest możliwość wytłumaczenia jednej z

⁶⁶⁶ Kiedy stwierdzamy, że energia grawitacyjna Ziemi krążącej wokół Słońca jest ujemna, przyjmujemy, że energia zerowa odpowiada punktom bardzo odległym od Słońca (leżącym w nieskończoności). Chcąc odsunąć Ziemię od Słońca, musielibyśmy dodać pewien zasób energii do układu Ziemia-Słońce, a stąd wynika, że grawitacyjna energia Ziemi ma wartość ujemną.

Dokładniej, całkowita energia płaskiego Wszechświata jest równa zero, natomiast energia Wszechświata otwartego jest nieskończona. Ponieważ energia jest tylko jedną ze składowych tensora drugiego rzędu (tensora energii-pędu), sama energia nie może być niezmiennikiem, lecz zależy od wyboru lokalnego układu odniesienia, w którym jest mierzona. Nie potrzeba zatem żadnej energii, żeby stworzyć zamknięty Wszechświat z Niczego.

najdziwniejszych własności Wszechświata.

Wiadomo, że stałe fizyczne przyjmują w naszym Wszechświecie wartości z niezmiernie wąskiego zakresu. Jeśli te stałe (takie jak masy cząstek elementarnych oraz stałe sprzężenia, odpowiadające za intensywność oddziaływań pomiędzy tymi cząstkami) miałyby nieco inne wartości, zapanowałby chaos uniemożliwiający powstanie życia. Protony ulegałyby rozpadowi, jądra atomowe byłyby niestabilne, nie mógłby powstać DNA, a oparte na węglu życie nigdy by na Ziemi nie zaistniało.

Stwierdzenie to jest dobrze uzasadnione. Każda z dokładnie sprawdzonych stałych fizycznych przyjmuje wartość z pewnego wąskiego przedziału umożliwiającego istnienie życia. Fakt ten próbuje uzasadnić zasada antropiczna. Mówi ona, że stałe fizyczne Wszechświata mają obserwowane wartości właśnie dlatego, by mogło powstać życie. Niektórzy uczeni twierdzą, że jest to czysty przypadek, lecz trudno temu dać wiarę. Inni uważają, że wskazuje to na istnienie jakiejś kosmicznej opatrności, która określiła stałe fizyczne dla naszego Wszechświata tak, by mogło w nim powstać życie i świadomość. W kontekście teorii Metawszechświata pojawia się jednak nowa interpretacja tego faktu.

Jeśli rzeczywiście istnieje nieskończona liczba wszechświatów, to w większości kosmosów stałe fizyczne przyjmują inne wartości niż w naszym. Światy te są prawdopodobnie martwymi morzami elektronów i neutronów. Możliwe jednak, że istnieją wszechświaty, w których stałe fizyczne dopuszczają istnienie DNA. Nasz Wszechświat należy właśnie do tej grupy, co wyjaśnia, dlaczego znajdujemy się tu i możemy w ogóle o tych sprawach dyskutować. Inaczej mówiąc, idea Metawszechświata niesie ze sobą proste wytłumaczenie tego, że obowiązuje zasada antropiczna.

Bardzo odległa przyszłość: los Wszechświata

Żadna dyskusja nad przyszłością nie będzie kompletna, jeśli pominie się rzeczy ostateczne, czyli w tym wypadku los

Wszechświata. Opierając się na znajomości praw fizyki, potrafimy ograniczyć liczbę możliwych scenariuszy zdarzeń, które nastąpią w ciągu kolejnych 100 miliardów lat.

Nasz bąbel rozszerza się od jakichś 15 miliardów lat, lecz uczeni nie są zgodni co do tego, jak długo proces ten będzie trwał. Nie jest też jasne, czy Wszechświat zginie w ogniu, czy zastygnie w lodowym bezruchu.

Jeśli gęstość materii we Wszechświecie jest wyższa od pewnej krytycznej wartości, to siła grawitacji zdolna będzie zmienić kierunek kosmicznej ekspansji. Obserwowane obecnie przesunięcie linii widmowych światła oddalających się galaktyk ku czerwieni może ulec odwróceniu. Kiedy grawitacja powstrzyma rozszerzanie się kosmosu, wywołując kontrakcję, będziemy obserwować przesunięcie światła galaktyk ku fioletowej części widma. W kurczącym się Wszechświecie temperatury zaczną stopniowo rosnać. Za miliardy lat oceany zaczną wrzeć, planety ulegną stopieniu, a gwiazdy i galaktyki zostaną ściśnięte do pierwotnego atomu o olbrzymiej gęstości. Według tego scenariusza, Wszechświat skończy w ognistym Wielkim

Autorem idei Wszechświata pojawiającego się jako efekt fluktuacji kwantowej jest Edward Tryon z Hunter College.

Kolapsie.

Jeśli jednak we Wszechświecie nie ma wystarczająco dużo materii, będzie się on wiecznie rozszerzał. Wówczas, zgodnie z drugą zasadą termodynamiki, jego temperatura zacznie się obniżać. Kiedy temperatura spadnie niemal do absolutnego zera, Wszechświat będzie składał się jedynie z wymarłych gwiazd i czarnych dziur. Po bilionach bilionów lat wyparują nawet czarne dziury i Wszechświat stanie się gazową fazą elektronów i neutrin. Według tego scenariusza, nazywanego czasami Wielkim Chłodem lub śmiercią cieplną, Wszechświat skończy w wiecznym zimnie.

Uczeni nie są obecnie pewni, który scenariusz jest prawdziwy. Ilość materii obserwowanej we Wszechświecie nie wystarcza, by odwrócić jego ekspansję. Jednakże ostatnio astronomowie coraz bardziej skłaniają się ku przekonaniu, że być może nawet 90% materii we Wszechświecie przybrało formę nie wysyłającej światła ciemnej materii. Tajemnicza ciemna materia, której nikt jeszcze nie widział, posiada masę, ale jest niewidoczna. Według tych nowych wyobrażeń, ciemna materia otacza galaktyki i powstrzymuje je przed rozproszeniem się w przestrzeni. Ponieważ nie wiemy dokładnie, ile ciemnej materii istnieje w kosmosie, nie możemy stwierdzić, czy jest jej wystarczająco dużo, by odwrócić ekspansję.

Jedno jest pewne, Wszechświat w końcu umrze, a wraz z nim znikną wszelkie inteligentne formy życia. Wydaje się, że nic, nawet cywilizacja typu III, nie potrafi umknąć przed śmiercią samego Wszechświata. Również najbardziej rozwinięte cywilizacje obrócą się w popiół. Albo spalą się, gdyż ich urządzenia nie będą mogły powstrzymać dążących do nieskończoności temperatur, albo zamrzną, nie mogąc przeciwdziałać spadkowi temperatury do zera absolutnego. Choć cywilizacja typu III potrafi dyrgować energią całej galaktyki, umiejętność ta nie wystarczy, by zapobiec śmierci Wszechświata.

Wygląda więc na to, że Wszechświat i wszystkie inteligentne istoty, które go zamieszkują, czeka nieuchronna zagłada. Taki koniec wydaje się szczytem egzystencjalnego absurdu - życie, w coraz bardziej złożonych formach, prowadziło przez miliony lat morderczą walkę, by wyrwać się z bagien i sięgnąć gwiazd, a wszystko tylko po to, aby zniknąć razem z konającym Wszechświatem!

Lecz i w tej ponurej wizji tkwi iskierka nadziei. Istnieje bowiem możliwość, że jakaś cywilizacja w kosmosie osiągnie czwarty poziom rozwoju i nauczy się manipulować kontinuum czasoprzestrzennym. Cywilizacja typu IV mogłaby poszerzyć mikroskopowej wielkości tunele, ustawicznie pojawiające się pomiędzy różnymi światami, co umożliwiłoby jej przeniesienie się do innego wszechświata. Gdyby opanowała niewyobrażalną energię, pozwalającą stworzyć wystarczająco szerokie tunele pomiędzy światami, mogłaby dać nura w tunel i umknąć przed zagładą Wszechświata.

A wówczas teoria wszystkiego, która na pierwszy rzut oka wydaje się bezużyteczna i pozbawiona jakichkolwiek praktycznych zastosowań, mogłaby ostatecznie przynieść ratunek inteligentnym formom życia tego Wszechświata.

Podsumowanie

Kiedy Isaac Newton wędrował brzegiem morza, zbierając muszle, nie zdawał sobie sprawy, że rozciągający się przed nim olbrzymi ocean nieodgadnionych prawd może zawierać takie cuda nauki. Prawdopodobnie nie mógł przewidzieć nadejścia dnia, w którym nauka odkryje tajemnice życia, atomu i umysłu.

Dzisiaj z oceanu tego wynurzyło się już wiele tajemnic. I otworzył się przed nami inny przestwór, cudowny ocean nowych możliwości nauki i jej zastosowań. Być może jeszcze podczas naszego życia nauka odsłoni wiele fenomenów. Albowiem nie jesteśmy już biernymi widzami, patrzącymi bezradnie z boku na wielki taniec Przyrody. Przeobrażamy się w choreografów tego tańca. Mając w ręku podstawowe prawa mechaniki kwantowej, DNA i komputerów, wybieramy się w podróż o wiele dalszą, wiodącą nas ku gwiazdom. I niewykluczone, że coraz lepiej poznając własności czasoprzestrzeni, w końcu zapanujemy nad czasem i przestrzenią.

Wykluczając możliwość jakiejś naturalnej katastrofy, wojny czy zniszczenia środowiska, wchodzimy na szlak, który wiedzie ku cywilizacji pierwszego typu. W ciągu stulecia lub dwóch staniemy się społecznością planetarną. Będzie to możliwe dzięki trzem opisanym w tej książce rewolucjom naukowym. To one ostatecznie zdecydują o losie ludzkości i określą miejsce człowieka pośród gwiazd. Wykorzystanie osiągnięć tych przewrotów naukowych spowoduje, iż po raz pierwszy w historii ludzkości znajdziemy się w przedświonku Wszechświata.

PRZYPISY

Rozdział 1

CHOREOGRAFOWIE MATERII, ŻYCIA I INTELIGENCJI

1. Świadczy o tym chociażby rosnąca objętość czasopism naukowych.
2. David Wallechinsky: *The People's Almanac Presents the Complete Idiosyncratic Compendium of the Twentieth Century*. Little, Brown, Boston 1995; również magazyn "Parade", 10 września 1995, s. 16.
3. Według trzeciego postulatu mechaniki kwantowej kwadrat modułu funkcji falowej równania Schrödingera jest miarą prawdopodobieństwa znalezienia cząstki w pewnym punkcie przestrzeni w pewnej chwili czasu. Tak więc determinizm, wynikający z równania Newtona, zgodnie z którym wszystkie zjawiska można opisać z nieskończoną dokładnością, zostaje zastąpiony prawdopodobieństwami i falami. Prowadzi to z kolei do zasady nieoznaczoności Heisenberga, według której nie sposób jednocześnie określić dokładnych wartości położenia i prędkości cząstki.
4. John Horgan: *The End of Science*. John Wiley, Nowy Jork 1996, s. 6, wywiad. Wyd. polskie: *Koniec nauki* Prószyński i S-ka, Warszawa 1998.
5. Sheldon Glashow, Leon Lederman: The SSC: A Machine for the Nineties, "Physics Today", marzec 1985, s. 332.
6. Lester C. Thurow: *The Future of Capitalism*. William Morrow, Nowy Jork 1996, s. 279.
7. *Ibidem*, s. 67.
8. *Ibidem*, s. 68.
9. *Ibidem* s. 67.
10. Freeman Dyson: *Disturbing the Universe*. Harper & Row, Nowy Jork 1979, s. 212.
11. W serialu pojawia się jedna prawdziwie galaktyczna cywilizacja Borgów, którą prawdopodobnie można zaliczyć do cywilizacji trzeciego rodzaju. Obawiają się jej zatem wszelkie cywilizacje typu drugiego. Jest również tajemnicza, niemal boska rasa superistot, zwanych Q, które potrafią dowolnie manipulować przestrzenią, czasem, materią i energią. Ta mityczna rasa to cywilizacja zupełnie nowego rodzaju, być może typu IV.

Rozdział 2

NIEWIDZIALNY KOMPUTER

1. Mark Weiser, wywiad w: Weiser Web Page.
2. *The Computer in the 21st Century*. Scientific American Books, Nowy Jork 1995, s. 78.
3. *Ibidem*.
4. *Ibidem*.
5. Steven Lubar: *Info Culture*. Houghton Mifflin, Boston 1993, s. 336.
6. *Ibidem*, s. 368-369.
7. Wywiad z Weiserem.
8. Bill Gates: *The Road Ahead*. Viking, Nowy Jork 1995, s. 273-274.
9. Forbes ASAP, 2 lutego 1996, s. 60.
10. Paul Saffo: "The International Design Magazine", styczeń - luty 1995, s. 74.
11. G. Dan Hutcheson, Jeny D. Hutcheson: Technologia i koszty w przemyśle półprzewodnikowym, "Świat Nauki", marzec 1996, s. 38.
12. Dokładniej, według prawa Rayleigha, rozdzielczość, jaką można osiągnąć przy użyciu danej wiązki laserowej, jest określona ilorazem długości fali światła oraz apertury układu optycznego.
13. Paul Saffo, wywiad z autorem, 14 lutego 1996.
14. *Ibidem*.
15. *The Computer in the 21st Century*, s. 78-80.
16. *Ibidem*, s. 85-87.
17. *Ibidem*, s. 87-88.

18. Neil Gershenfeld, wywiad z autorem, 26 lipca 1996.
19. Wywiad.
20. Wywiad.
21. Wywiad.
22. Media Lab Web Page.
23. Media Lab Web Page.
24. "Business Week", 24 czerwca 1996, s. 119.
25. Alex P. Pentland: Inteligentne pomieszczenia, "Świat Nauki", czerwiec 1996, s. 48.
26. *Ibidem*, s. 52.
27. *Ibidem* s. 55.
28. "New York Times Magazine", 16 czerwca 1996, s. 28.
29. *Ibidem*.
30. Carol H. Fancher: Inteligentne karty, "Świat Nauki", październik 1996, s. 27.
31. "The Economist", 22 czerwca 1996, s. 3.
32. "Wall Street Journal Supplement", lipiec 1996, s. 8.
33. "New York Times", 5 marca 1996, s. D1.
34. *Ibidem*.
35. W Anglii istnieje już podobny system o nazwie Trafficmaster. "The Economist", 22 czerwca 1996, s. 16.
36. "International Herald Tribune", 29-30 czerwca 1996, s. 2.
37. Wywiad z Weiserem.
38. "Science News", 15 kwietnia 1995, s. 235.

Rozdział 3 INTELIGENTNA PLANETA

1. "Fortune", 9 lipca 1996, s. 46.
2. *The Computer in the 21st Century*. Scientific American Books, Nowy Jork 1995, s. 4-5; Nathaniel Hawthorne: *Dom o siedmiu szczytach*. Tłum. Bronisława Bałutowa. Czytelnik, Warszawa 1982, s. 288.
3. W 1996 roku twórcy programu *Yahoo!*, Jeny Yang, 27 lat, oraz David Filo, 30 lat, w dniu, w którym ich firma weszła na giełdę, stali się bogatsi o 132 miliony dolarów, mimo że nie osiągnęli jeszcze ani centa zysku ("USA Weekend", 10-12 maja 1996, s. 4).
4. "Business Week", 15 lipca 1996, s. 63.
5. Michio Kaku, Daniel Axelrod: *To Win a Nuclear War*. South End Press, Boston 1987, s. 200.
6. Pentagon nazywał to "utrzymaniem zdolności do pierwszego uderzenia". Nie oznaczało to, że system miał być wykorzystany do zaatakowania przeciwnika, a jedynie, że groźba pierwszego ataku jest rzeczywiście wiarygodna.
7. Na pomysł ten wpadł Paul Baran, imigrant ze Wschodniej Europy. Pragnął on stworzyć system telekomunikacyjny, który byłby niewrażliwy na zniszczenia spowodowane wojną jądrową. Również inni eksperci, zainteresowani jedynie cywilnymi zastosowaniami, mieli swój wkład w budowę ARPANETu. ("New York Times", 21 sierpnia 1996, New York Times Web Page. Zobacz również Katie Hafner, Mathew Lyon: *Where Wizards Stay Up Late*. Simon & Schuster, Nowy Jork 1996).
8. "Newsweek", 8 sierpnia 1996, s. 57.
9. Nicholas Negroponte: *Being Digital* Alfred A. Knopf, Nowy Jork 1995, s. 181.
10. *Ibidem*, s. 182.
11. "Washington Post Magazine", 4 sierpnia 1996, s. 26.
12. "Wall Street Journal", 17 czerwca 1996, s. R28.
13. *Ibidem*.
14. "New York Times", 21 czerwca 1996, s. D6; "Wall Street Journal", 23 sierpnia 1996, s. B1.
15. "Wall Street Journal", 23 sierpnia 1996, s. B1.
16. *The Computer in the 21st Century*, s. 156.
17. Steven Lubar: *Info Culture*. Houghton Mifflin, Boston 1993, s. 134.
18. Clifford Stoli, wywiad z autorem.
19. *Ibidem*. Również Clifford Stoli: *Silicon Snake Oil*. Doubleday, Nowy Jork 1995, s. 10.
20. Lubar: *Info Culture*, s. 236.
21. Członkiem tej grupy był także Alan Kay. Wiele tych innowacji powstało w jego bogatej wyobraźni.
22. Larry Tesler, wywiad z autorem.

23. *Ibidem*.

24. "Wall Street Journal", 17 czerwca 1996, s. R6. Ponieważ aż 20% tzw. wydatków operacyjnych przeznaczane jest na koszty dystrybucji (działalność biur podróży oraz systemów komputerowej rezerwacji miejsc), linie lotnicze zainteresowane są umieszczaniem systemów rezerwacji w Internecie, zwłaszcza w celu sprzedaży nie wykorzystanych miejsc.

25. "Wall Street Journal", 17 czerwca 1996, s. R8.

26. Działająca *on-line* księgarnia Amazon.com Inc oferuje olbrzymią liczbę tytułów, rzędu miliona. "Taka liczba książek nie pomieściłaby się w żadnej normalnej księgarni. Nie można też przedstawić oferty w postaci katalogu. Musiałby on mieć objętość siedem razy większą niż książka telefoniczna Manhattanu" - twierdzi Jeffrey Bezos, dyrektor firmy. "Wall Street Journal", 6 czerwca 1996, s. R6.

27. "Wall Street Journal", 17 czerwca 1996, s. R10.

28. *Ibidem*, s. R6.

29. "New York Times", 19 lutego 1996, s. C3.

30. "Fortune", 9 lipca 1996, s. 46.

31. ISDN jest akronimem *integrated services digital network*. Baud jest miarą szybkości przekazywania informacji równą 1 bitowi w ciągu sekundy. Nazwa pochodzi od nazwiska francuskiego wynalazcy, Emile Baudota. Sygnał ISDN o szybkości transmisji 144 kilobaudów może składać się z dwóch sygnałów po 64 kilobaudów.

32. "New York Times", 4 listopada 1994, s. D5.

33. "Time", 12 sierpnia 1996, s. 43.

34. "New York Times", 20 maja 1996, s. D7.

35. *Ibidem*.

36. "New York Times", 10 lutego 1997, s. D5.

37. David Nahamoo, wywiad z autorem, czerwiec 1996.

38. Wywiad z Pattie Maes.

39. *Ibidem*.

40. "Time", 25 marca 1996, s. 58.

41. Pattie Maes: Oprogramowanie inteligentne, "Świat Nauki", listopad 1995, s. 58-60.

42. *Ibidem*, s. 85.

43. "Discover", czerwiec 1996, s. 48.

44. "Time", 25 marca 1996, s. 55.

45. "Washington Post", 19 lutego 1996, s. All. Douglas Hofstadter, wywiad z autorem, 27 maja 1997.

46. Douglas B. Lenat: Sztuczna inteligencja, "Świat Nauki", listopad 1995, s. 54.

47. Denis Shasha, Cathy Lazere: *Out of Their Minds*. Springer-Verlag, Nowy Jork 1995, s. 226.

48. Daniel Crevier: *AI*. Basic Books, Nowy Jork 1993, s. 242. Wywiad z autorem, 27 maja 1997.

49. *Ibidem*, s. 240.

50. *Ibidem*, s. 241.

51. David H. Freedman: *Brainmakers*. Simon & Schuster, 1993, s. 56.

52. Paul Walllich: Krzemowe dzieci, "Świat Nauki", luty 1992, s. 92.

53. Wywiad z Pattie Maes.

54. Crevier: *AI*, s. 243.

Rozdział 4 MYŚLĄCE MASZYNY

1. Michael Wessler, Laboratorium Sztucznej Inteligencji MIT, wywiad z autorem, 10 lipca 1996.

2. David H. Freedman: *Brainmakers*. Simon & Schuster, Nowy Jork 1994, s. 15.

3. Rodney Brooks, wywiad z autorem, 10 lipca 1996.

4. Freedman: *Brainmakers*, - s. 24.

5. Wywiad z Rodneyem Brooksem.

6. Donna Shirley, wywiad z autorem, 14 sierpnia 1996. Rodney Brooks, Anita M. Flynn: Fast, Cheap and Out of Control, "Journal of the British Interplanetary Society", 42 (1989), s. 478-485.

7. NASA Web Page; Mars Pathfinder Web Page; wywiad z Donna Shirley.
8. Wywiad z Rodneyem Brooksem.
9. Rodney A. Brooks: Intelligence Without Reason, "Proceedings of the 1991 International Joint Conference on Artificial Intelligence", 1991, s. 569-595. Rodney A. Brooks: Elephants Don't Play Chess [w] *Designing Autonomous Agents*. MIT Press, Cambridge, Mass. 1990, s. 3-15.
10. Nazwa "maszyna Turinga" powstała w latach 30. Alan Turing był brytyjskim matematykiem, który usiłował dotrzeć do samej istoty funkcjonowania maszyny liczącej. Maszyny cyfrowe, i te najprostsze, i te najbardziej skomplikowane, są maszynami Turinga lub inaczej "uniwersalnymi maszynami liczącymi". Maszyna Turinga składa się z nieskończonego pojemnego, binarnego urządzenia wejścia/wyjścia, procesora oraz programu. Procesor wczytuje dane wejściowe, przetwarza je zgodnie z instrukcjami programu i przekazuje wyniki na wyjście. Procesor może wykonać jedynie 4 operacje: zamienić miejscami 1 i 0 lub odwrotnie oraz przeskoczyć z danego miejsca o jedno miejsce do przodu lub do tyłu. Jest rzeczą godną uwagi, że działanie każdego nowoczesnego komputera można symulować tylko za pomocą tych czterech operacji.
11. Paul Wallich: Krzemowe dzieci, "Świat Nauki", luty 1992, s. 89.
12. D. Crevier: *AI*. Basic Books, Nowy Jork 1993, s. 7.
13. Freedman: *Brainmakers*, s. 29.
14. *Ibidem*.
15. *Ibidem*, s. 30.
16. *Ibidem*.
17. Hans Moravec: *Mind Children*. Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1988, s. 20. Wywiad z autorem, 14 stycznia 1997.
18. *Ibidem* s. 36.
19. *Ibidem* s. 37.
20. George Harrar: *Radical Robots*. Simon & Schuster, Nowy Jork 1990, s. 36.
21. Miguel Virasoro, wywiad z autorem, czerwiec 1992.
22. Daniel Crevier obliczył, kiedy moc obliczeniowa superkomputerów przekroczy możliwości ludzkiego mózgu. W najlepszym przypadku stanie się to w roku 2009, a w najgorszym w 2042 (Crevier: *AI*, s. 303). Wywiad z Crevierem.
23. Mózg jest również siecią neuronową i niektórzy uczeni twierdzą, że obwody sieci neuronowej mogą być odtworzone jako maszyna Turinga. Można zatem uznać, że mózg jest bardzo skomplikowaną maszyną Turinga. Jednak takie podejście jest bardzo niezgrabne i nie oferuje żadnych praktycznych wskazówek w badaniach nad mózgiem. O wiele bardziej praktyczne jest rozważanie samych sieci neuronowych.
24. Jak już wcześniej wspomniano, problem sieci neuronowych włączamy do rozważań o sztucznej inteligencji. Niektórzy jednak sądzą, że badania nad sieciami neuronowymi są zupełnie odrębną dyscypliną.
25. Sejnowski obecnie jest profesorem Uniwersytetu Kalifornijskiego w San Diego.
26. William F. Allman: *Apprentices of Wonder*. Bantam Books, Nowy Jork 1988, s. 2.
27. Czynniki wagowymi mogą być, na przykład, wartości rezystancji w poszczególnych obwodach sieci neuronowej. W przypadku poprawnego zadziałania danej konfiguracji jej czynniki wagowe ulegają wzmocnieniu, dzięki czemu rośnie prawdopodobieństwo ponownego wyboru użytego właśnie obwodu. Po działaniu błędnym znaczenie danego obwodu w sieci jest osłabiane, dzięki czemu zmniejsza się prawdopodobieństwo użycia go w przyszłości.
28. Allman: *Apprentices of Wonder*, s. 2.
29. Heinz R. Pagels: *The Dreams of Reason*. Bantam Books, Nowy Jork 1988, s. 140.
30. Allman: *Apprentices of Wonder*, s. 179.
31. Pagels: *The Dreams of Reason*, s. 130.
32. Allman: *Apprentices of Wonder*, s. 81.
33. Do podjęcia badań nad sieciami neuronowymi przyczyniło się nie tylko odkrycie dokonane przez Hopfielda.

Kolejnym krokiem było odkrycie

27. "propagacji wstecznej" wpływającej na usprawnienie komunikowania się neuronów w ramach sieci neuronowej.
34. Allman: *Apprentices of Wonder*, s. 99.
35. "New York Newsday", 22 stycznia 1991, s. 65.
36. Allman: *Apprentices of Wonder*, s. 146.
37. *Ibidem*, s. 147.
38. Peter Coveney, Roger Highfield: *Frontiers of Complexity*. Ballantine Books, Nowy Jork, s. 262.
39. Wywiad z Rodneyem Brooksem.
40. *Ibidem*.
41. "Time", 25 marca 1996, s. 57.
42. Charles Sheffield, Marcelo Alonso, Morton A. Kaplan: *The World of 2044*. Paragon House, St. Paul 1994, s. 33-34.
43. Marvin Minsky: *The Society of Mind*. Simon & Schuster, Nowy Jork 1985, s. 94.
44. Crevier: *AI*, s. 266. Wywiad.
45. *Ibidem*, s. 267.
46. "Discover", czerwiec 1996, s. 50.
47. John Horgan: Marvin L. Minsky: Mistrz duchowy sztucznej inteligencji, "Świat Nauki", styczeń 1994, s. 17.
48. "Time", 25 marca 1996, s. 53.
49. "Dowód" Penrose'a mający świadczyć o niemożności zbudowania myślącej maszyny nie był w rzeczywistości żadnym dowodem, ale raczej zbiorem wyrafinowanych, lecz przeważnie intuicyjnych argumentów, opartych na analogiach zaczerpniętych z matematyki i fizyki, a w szczególności na głębokim twierdzeniu Gódl'a o niekompletności arytmetyki oraz na zasadzie nieoznaczoności Heisenberga.
Penrose zwraca między innymi uwagę na fakt, że maszyna Turinga w skończonym przedziale czasu nie potrafi wyliczyć pewnych liczb. Z kolei ludzki mózg radzi sobie z problemami, którym nie mogą poddać maszyny Turinga. Dochodzimy zatem do wniosku, że ludzie nie mogą być maszynami. (Przypominamy jednak, że nasze umysły działają jak sieci neuronowe, a nie jak maszyny Turinga, przeto argumenty Penrose'a nie mają tu zastosowania).
50. Pagels: *The Dreams of Reason*, s. 240.
51. Turing uważał, że pewnego dnia komputery staną się tak doskonałe, że nie będą różnić się od ludzi (w sensie operacyjnym). Aby to udowodnić, wymyślił sławny "test Turinga". Polega on na tym, że w jednej "czarnej skrzynce" umieszczamy komputer, a w drugiej człowieka i zadajemy dowolne pytania którejkolwiek ze skrzynek. Czy po zakończeniu testu będziemy potrafili odpowiedzieć na pytanie, w której skrzynce jest człowiek, a w której komputer? W czasach Turinga komputery były jeszcze tak prymitywne, że nikt nie próbował nawet przeprowadzić takiego testu. Przeprowadzono go dopiero niedawno, i to przy udziale zwykłego PC. I chociaż komputer osobisty w końcu się poddał, poziom rywalizacji był tak wysoki, że część jurorów nie potrafiła odgadnąć, w której skrzynce znajduje się człowiek, a w której maszyna.
50. Rozdział 5
KRZEM I CO POTEM?
 1. Sam Moore wskazał na błąd kryjący się w jego własnym prawie. Za pomocą prawa Moore'a można wykazać, że w roku 2040 obroty przemysłu półprzewodnikowego będą większe niż suma dochodów narodowych gospodarek całego świata.
 2. FLOP pochodzi od *floating point operation*. Jest to operacja zmienna-przecinkowa polegająca na mnożeniu dwóch liczb rzeczywistych w zapisie dziesiętnym. "Giga" oznacza miliard, "tera" - bilion, a "peta" - biliard.
 3. "USA Today", 26 lipca 1996, s. B1.
 4. Hans Moravec: *Mind Children*. Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1988, s. 60. Wywiad.
 5. Bernard S. Meyerson: Bardzo szybka elektronika krzemowo-germa-nowa, "Świat Nauki", maj 1994, s. 44.
 6. Gary Stix: O krok od granic możliwości, "Świat Nauki", kwiecień 1995, s. 81.
 7. *Ibidem*, s. 77.
 8. "New York Times", 30 stycznia 1990, s. D8.
 9. *Ibidem*.

10. Demetri Psaltis, Fai Mok: Pamięci holograficzne, "Świat Nauki", styczeń 1996, s. 46.

11. Zauważmy, że w ten sposób tracimy pewną część informacji. W zasadzie, dysponując czterema literami, moglibyśmy znacznie ekonomiczniej generować większe zbiory liczb niż za pomocą dwóch liter. Jak dotąd nie wykorzystano w pełni tej zalety komputerów DNA.

12. "New York Times", 11 kwietnia 1995, s. C10.

13. *Ibidem*.

14. *Ibidem*.

15. *Ibidem*.

16. "Dallas Morning News", 3 sierpnia 1992, s. 5F.

17. Nie oznacza to jednak, że komputery kwantowe wykonują obliczenia natychmiastowo. Również w komputerach kwantowych przeprowadzanie obliczeń trwa jakiś czas. Jednakże przetwarzanie danych w trakcie rozwiązywania trudnych problemów wymaga "czasu wielomianowego", tzn. czas obliczeń rośnie potęgowo z liczbą kroków, a nie wykładniczo. Daje to komputerom kwantowym wielką przewagę nad maszynami Turinga.

18. "Discover", październik 1995, Discover magazine Web Page.

19. *Ibidem*.

20. "Science News", 6 kwietnia 1996, s. 223.

21. Ralph Merkle Home Page, Xerox PARC.

22. Nie jest to takie głupie, jak się na pierwszy rzut oka wydaje. Po pierwsze, mówi Minsky, umysł ludzki wcale nie wie tak dużo. Thomas K. Landauer z Bellcore wyliczył, że średnio ludzie uczą się z szybkością nie większą niż dwa bity na sekundę. Minsky więc argumentuje: "Gdybyśmy uczyli się w tym tempie 12 godzin dziennie przez 100 lat, przyswoilibyśmy

około trzech miliardów bitów, czyli mniej, niż zawiera zwykły CD-ROM" (Marvln Minsky: Nie będzie nas, będą roboty?, "Świat Nauki", grudzień 1994, s. 94).

Po drugie, Minsky wierzy, że w przyszłości stworzona zostanie technologia umożliwiająca transfer umysłu, tak jak to przewiduje Moravec. Dzięki nanotechnologii możliwe stanie się konstruowanie urządzeń o wymiarach mniejszych niż grubość włosa ludzkiego. Zespół takich mikrorobotów mógłby pewnego dnia odtworzyć w stosie neuronów krzemowych dokładnie taki sam układ połączeń, jaki istnieje w mózgu. Minsky pisze: "Gdybyśmy mieli milion automatów, z których każdy wykonywałby tysiąc części na sekundę, zrobilibyśmy to w parę minut" (*ibidem*, s. 95). Wywiad z Moravcem.

23. *Ibidem*, s. 95.

Rozdział 6

PO DŁUŻSZYM NAMYŚLE

1. Charles H. Bennett, Giles Brassard, Artur K. Ekert: Kryptografia kwantowa, "Świat Nauki", grudzień 1992, s. 30.

2. "Science News", 10 lutego 1996, s. 92.

3. "Wall Street Journal", 17 czerwca 1996, s. R26.

4. "Newsweek", 2 września 1996, s. 63.

5. "Wall Street Journal", 17 czerwca 1996, s. R26.

6. *Ibidem*.

7. *Ibidem*.

8. "Washington Post", 21 czerwca 1996, s. A23.

9. *Ibidem*.

10. Hamish McRae: *The World in 2020*. Harvard Business School Press, Cambridge, Mass. 1994, s. 11.

11. *The War After Byte City*, Progress and Freedom Foundation, adres w Internecie: <http://www.pff.org/pff/bigchange/wrbcity.html>. "Village Voice", 6 lutego 1996, s. 31.

12. Frank Owen z "The Village Voice", *ibidem*.

13. *Ibidem*.

14. Jeremy Rifkin: A Radically Different World, "Forbes ASAP", 2 grudnia 1996, s. 66. Wywiad z autorem, 12 maja 1997.

15. Lester C. Thurow: *The Future of Capitalism*. William Morrow, Nowy Jork 1996, s. 286.

16. *Ibidem*, s. 284.

17. *Ibidem*, s. 326.

18. Daniel Crevier: *AI*. Basic Books, Nowy Jork 1993, s. 341. Wywiad.
19. Hans Moravec: *Mind Children*. Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1988, s. 100. Wywiad.
20. Crevier: *AI*, s. 316.
21. Crevier: *AI*, s. 318. Wywiad.

10. Rozdział 7

OSOBISTE SEKWENCJE NUKLEOTYDÓW

1. Francis Collins, wywiad z autorem, 7 maja 1996.
2. *Ibidem*.
3. Jeff Lyon, Peter Gorner: *Altered Fates*. W. W. Norton, Nowy Jork 1995, s. 359.
4. Wywiad z Francisem Collinsem.
5. *Ibidem*.
6. Dokładna liczba genów w genomie ludzkim nie jest znana. Niektórzy genetycy sądzą, że może być ona znacznie mniejsza niż 100 tysięcy, być może tylko około 60 tysięcy.
7. Lyon, Gorner: *Altered Fates*, s. 535.
8. "New York Times", 28 września 1995, s. A24.
9. Sir John Kendrew: *The Encyclopedia of Molecular Biology*. Blackwell Science, Cambridge 1994, s. 489.
10. "New York Times", 25 października 1996, s. A18. "Science", październik 1996.
11. "New York Times", 28 września 1995, s. A24.
12. Walter Gilbert, wywiad z autorem, 30 grudnia 1996.
13. Lyon, Gomer: *Altered Fates*, s. 532. Wywiad.
14. W zasadzie nie wiadomo, ile jest chorób genetycznych, prawdopodobnie znacznie więcej, gdyż niemal każda mutacja genu może być przyczyną jakiegoś schorzenia o podłożu genetycznym. Pięć tysięcy jest wartością przybliżoną i odpowiada liczbie dostrzeżonych oraz opisanych powikłań genetycznych. Wywiad.
15. Dokąd zmierza medycyna, "Świat Nauki", listopad 1995, s. 105.
16. Lyon, Gorner: *Altered Fates*, s. 532. Wywiad.
17. Daniel Kevles, Leroy Hood (red.): *The Code of Codes*. Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1992, s. 96.
18. Walter Gilbert, wywiad w: Kevles, Hood (red.): *The Code of Codes*, s. 94.
19. "Time", wydanie specjalne, jesień 1996, s. 25.
20. Wywiad z Francisem Collinsem.
21. *Ibidem*.
22. Michael P. Murphy, Lukę A. J. O'Neill: *What Is Life? The Next Fifty Years*. Cambridge University Press, Cambridge 1995, s. 25.
23. Walter Moore: *Schrödinger: Life and Thought*. Cambridge University Press, Cambridge 1989, s. 403.
24. Watson wspomina: "Zasadniczym czynnikiem, który skłonił go (Cricka) do porzucenia fizyki i zajęcia się biologią, było przeczytanie w 1946 r. książki *What is Life? (Czym jest życie?)* napisanej przez sławnego fizyka teoretyka Erwina Schrödingera". (James D. Watson: *Podwójna helisa. Historia odkrycia struktury DNA*. Prószyński i S-ka, Warszawa 1995, s. 19).
25. Watson: *Podwójna helisa*.
26. Litery te odpowiadają poszczególnym zasadom: A = adenina, C = cytozyna, T = tymina, G = guanina.
27. Wywiad z Francisem Collinsem. "Time", 17 stycznia 1994, s. 55.
28. Nowoczesnym sposobem powielania nici DNA jest technika PCR (*polymerase chain reaction*, łańcuchowa reakcja polimerazy). Ogrzewając próbkę DNA, możemy doprowadzić do rozdzielenia się obu nici helisy. Następnie, po dodaniu polimerazy, ochładzamy próbkę i każda nić ulega powieleniu. Zaczęliśmy z jedną helisą DNA, a oto już mamy dwie. Wielokrotnie ogrzewając i ochładzając próbkę, powodujemy wzrost liczby cząsteczek DNA w tempie wykładniczym. W ten sposób nie jest trudno powielić początkową ilość DNA miliony czy miliardy razy.
29. Zakładamy, że mutacje w DNA nie zdarzają się zbyt często. W przypadku wirusów szybkość mutacji jest jednak tak wielka, że odtworzenie drzewa genealogicznego tych organizmów może okazać się niemożliwe.

30. Robert Cook-Deegan: *The Gene Wars*. W. W. Norton, Nowy Jork 1994, s. 111.
31. Wywiad z Francisem Collinssem.
32. Christopher Wills: *Exons, Introns, and Talking Genes*. Basic Books, Nowy Jork 1991, s. 273; Kevles, Hood (red.): *The Code o/Codes*, s. 137.
33. Od tego czasu odczytano genom wielu wirusów. We wczesnych latach 80. poznano wszystkie 48 514 par zasad składających się na genom wirusa lambda (atakującego *E. coli*). Zasady te kodują 50 białek.
34. Wills: *Exons, Introns, and Talking Genes*, s. 42; Kevles, Hood (red.): *The Code o/Codes*, s. 65.
35. Enzo Russo, David Cove: *Genetic Engineering*. W. H. Freeman, Nowy Jork 1995, s. 54.
36. Thomas Lee: *The Human Genome Project*. Plenum Press, Nowy Jork 1991, s. 170; Wills: *Exons, Introns, and Talking Genes*, s. 317.
37. "New York Times", 1 sierpnia 1995, s. C1. Ci sami badacze donieśli o zsekwencjonowaniu DNA drugiej komórki bakteryjnej: *Mycoplasmage-nitalium*, zawierającego 580 067 par zasad. Techniki sekwencjonowania tak się rozwinęły, że genom tej drugiej bakterii odczytano w przeciągu 3 miesięcy.
38. "Progress from the National Center for Human Genome Research", NIH, Bethesda, Md., 24 kwietnia 1996.
39. "Science News", 8 lutego 1997, s. 84.
40. Jednym z niespodziewanych wyników było odkrycie, że 95 do 98% informacji zawartej w ludzkim DNA jest informacją bezwartościową, w oczywisty sposób bezużyteczną. Jednakże pozostałe 2-5% genomu jest rzeczywiście istotne. To te geny kodują ważne dla życia cząsteczki białek, które są lokomotywami naszego organizmu, wytwarzając enzymy, tkanki i składniki komórek pozwalające na funkcjonowanie naszego ciała.
41. "Progress from the National Center for Human Genome Research", 24 kwietnia 1996.
42. Steve Jones, Robert Martin, David Pilbeam, Sarah Bunney (red.): *The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution*, Cambridge University Press, Cambridge (Anglia) 1992, s. 310.
43. Ponieważ mitochondrialny DNA dziedziczony jest tylko po matce, na przestrzeni wielu pokoleń ulega on nader powolnym mutacjom. Dlatego może zostać użyty jako "zegar genetyczny" odmierzający szybkość, z jaką pojawiają się mutacje w genomie człowieka. *The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution*, s. 396.
44. Thomas F. Lee: *Gene Future*. Plenum Press, Nowy Jork 1993, s. 67.
45. "New York Times", 5 lutego 1996, s. A12; "Washington Post", 5 stycznia 1997, s. A1 ("Discover", styczeń 1994, s. 90). Przeprowadzone w 1993 roku badania próbek DNA pobranych z odkopanych w Rosji kości ludzkich wykazały, że, istotnie, znalezione zostały szczątki cara Mikołaja II i jego rodziny, zabitych przez bolszewików podczas rewolucji październikowej. DNA carskiej rodziny porównywany był z DNA księcia Filipa, małżonka brytyjskiej królowej, Elżbiety I (babka księcia Filipa była siostrą Aleksandry, żony cara). Przeprowadzone przez dwie grupy badaczy, jedną w Niemczech, a drugą w Anglii, badanie DNA wykazało również, że podająca się za Anastazję, córkę cara, Anna Anderson Manahan, która pojawiła się po rewolucji 1917 roku, była oszustką ("Research in the News", NIH Web Page, <http://www.nih.gov>).
46. "New York Times", 30 stycznia 1995, s. C10.
47. "Science News", 3 sierpnia 1996, s. 77.
48. "New York Times", 14 czerwca 1996, s. A12. Analiza tych przypadków wykazała, że ci w większości niesprawiedliwie oskarżeni mężczyźni to ludzie biedni, których nie było stać na drogich adwokatów, aby obalić mylne wnioski policji oraz rodzin ofiar.
- Na podstawie testów DNA 1 ujawnionych nowych okoliczności zwolniono aż 48 więźniów, którzy przebywali w celi śmierci od 1973 roku. Jedną z bardziej dramatycznych sytuacji był przypadek czterech młodych ludzi z Chicago, skazanych za udział w brutalnym gwałcie i morderstwie (w tym dwóch skazanych na karę śmierci), którzy po 18 latach więzienia zostali wypuszczeni na wolność 14 czerwca 1996 roku jako niewinni. "To, że jesteśmy tu dzisiaj, zawdzięczamy DNA" - oświadczył Jeffrey Undangen, adwokat jednego z nich. Z dnia na dzień domniemani przestępcy stali się ludźmi wolnymi ("New York Times", 15 czerwca 1996, s. 6).
- W całych Stanach Zjednoczonych przeprowadza się rutynowo ponad 5000 testów DNA, z tego połowę w waszyngtońskim laboratorium FBI. I liczba ta gwałtownie rośnie ("Washington Post", 14 sierpnia 1996, s. C3).

49. "New York Times", 14 czerwca 1996, s. A12.
50. Por. wyżej uwagi dotyczące łańcuchowej reakcji polimerazy.
51. "New York Times", 11 czerwca 1996, s. C1.
52. Kevles, Hood (red.): *The Code of Codes*, s. 146.
53. Cook-Deegan: *The Gene Wars*, s. 283-285.
54. Wills: *Exons, Introns, and Talking Genes*, s. 51, 90.
55. "New York Times", 11 czerwca 1996, s. C12.
56. *Ibidem*.
57. *Ibidem*.
58. Cook-Deegan: *The Gene Wars*, s. 293.
59. *Ibidem*.
60. *Ibidem*, s. 293-294.
61. Wills: *Exons, Introns, and Talking Genes*, s. 97.
62. Kevles, Hood (red.): *The Code of Codes*, s. 147.
63. "New York Times", 18 sierpnia 1996, sekcja 3, s. 1.
64. Nowe układy, stare pomysły: Czy mikrosondy DNA też spowodują rewolucję?, "Świat Nauki", listopad 1996, s. 24.
65. *Ibidem*, s. 23.
66. Kevles, Hood (red.): *The Code of Codes*, s. 93.
67. "Progress from the National Center for Human Genome Research", 24 kwietnia 1996.

Rozdział 8

WALKA Z RAKIEM, CZYLI NAPRAWA GENÓW

1. "Washington Post", 11 czerwca 1996, sekcja Zdrowie, s. 11.
2. *Ibidem*.
3. *Ibidem*.
4. "Washington Post", 29 sierpnia 1996, s. A9.
5. Jeff Lyon, Peter Gorner: *Altered Fates*. W. W. Norton, Nowy Jork 1995, s. 24.
6. "Time", wydanie specjalne, jesień 1996, s. 28.
7. Lyon, Gorner: *Altered Fates*, s. 35.
8. *Ibidem*, s. 28.
9. *Ibidem*, s. 37.
10. Doświadczenia ze stosowaniem terapii genowej objęły SCID (zespół ciężkiego złożonego niedoboru odporności), mukowiscydozę, chorobę Gau-chera, rodzinną hipercholesterolemię, hemofilię, niedobór fosforylasy nu-kleocydów purynowych, niedobór alfa-1 antytrypsyny, anemię Fanconie-go, zespół Huntera, przewlekłą chorobę ziarniniakową, gościec przewlekły postępujący, chorobę naczyń obwodowych, AIDS i nowotwory (czerniak, ja-snokomórkowy rak nerki, jajnika, nerwiak niedojrzały, nowotwory mózgu, głowy i szyi, płuc, wątroby, sutka, okrężnicy, gruczołu krokowego, mię-dzybłoniak, białaczka, chłoniak, szpiczak mnogi). Zob. "Świat Nauki", listopad 1995, s. 95.
11. "Time", wydanie specjalne, jesień 1996, s. 29.
12. "Science News", 23 i 30 grudnia 1995, s. 428.
13. Abigail Salyers, Dixie D. Whitt: *Bacterial Pathogenesis*, ASM Press, Waszyngton 1994, s. 100.
14. "Time", wydanie specjalne, jesień 1996, s. 12.
15. Enzo Russo, David Cove: *Genetic Engineering*. W. H. Freeman, Nowy Jork 1995, s. 4.
16. Robert A. Weinberg: *Racing to the Beginning of the Road*. Random House, Nowy Jork 1996, s. 256.
17. "Time", 25 kwietnia 1994, s. 56.
18. Russo, Cove: *Genetic Engineering*, s. 123.
19. Przełom nastąpił w 1975 roku, kiedy J. Michael Bishop oraz Harold E. Varmus z Uniwersytetu Kalifornijskiego w San Francisco odkryli, że w komórkach ludzkich zdarzają się takie mutacje onkogenów, w wyniku których komórki rakowacieją. Ta historyczna praca przyniosła autorom Nagrodę Nobla.
20. Thomas F. Lee: *The Human Genome Project*. Plenum Press, Nowy Jork 1991, s. 198.
21. "Time", 25 kwietnia 1994, s. 60.
22. Choć gen *p-53* został odkryty przez Arnolda J. Levine'a z Princeton oraz Davida Lane'a z Molecular Research

Council w Cambridge w roku 1979, to dopiero w ciągu ostatnich sześciu lat zdano sobie sprawę, jak ogromną i centralną rolę odgrywa ten gen w procesach kancerogenezy.

23. "New York Times", 23 kwietnia 1991, s. C9.

24. Mikhail F. Denissenko i in.: Preferential Formation of Benzo[a]pyrene Adducts at Lung Cancer Mutational Hotspots [w] P53, "Science", 18 października 1996, s. 430.

25. Nowotwór piersi budzi chyba największy strach. W Stanach Zjednoczonych zapada rocznie na tę chorobę 180 tysięcy kobiet, 46 tysięcy z nich umiera. Trudno jest precyzyjnie określić przyczyny powstawania raka piersi, gdyż z chorobą tą można wiązać wiele czynników: wysokotłuszczową dietę, późną ciążę, wczesne pojawienie się pierwszej miesiączki, opóźnioną menopauzę, historię chorób w rodzinie, promieniowanie oraz oddziaływanie różnych substancji chemicznych itp. Natomiast czynnikiem wspólnym dla wszystkich przypadków może okazać się składowa genetyczna.

(Częściowym wytłumaczeniem wzrostu zapadalności na raka piersi w obecnych czasach może być fakt, że częstość występowania raka piersi jest proporcjonalna do liczby cykli menstruacyjnych. Niektórzy uczeni utrzymują, że ponieważ obecnie pierwsza miesiączka u kobiet pojawia się wcześniej niż w ubiegłym wieku i rodzą one mniej dzieci, rośnie liczba cykli menstruacyjnych w życiu kobiety. Konsekwencją tej sytuacji może być większa liczba przypadków raka piersi. Według danych Boyda Eatona z Uniwersytetu Emory, kobiety w Ameryce mają obecnie 3,5 raza więcej cykli miesięcznych niż ich poprzedniczki 10 tysięcy lat temu, ale też jest 3,5 raza więcej przypadków nowotworów piersi). "Discover", październik 1995.

W 1990 roku, dzięki wysiłkom międzynarodowej grupy uczonych, pojawiło się doniesienie o odkryciu w laboratorium pierwszego genu związanego z rakiem piersi. Został on zlokalizowany na 17 chromosomie i nazwany BRCA1. W rodzinach, w których występuje wysokie ryzyko nowotworu piersi, nosicielka genu *BRCA1* ma 85% szans na zapadnięcie na raka piersi ("Science News", 9 grudnia 1995, s. 395).

W roku 1995 znaleziono drugi gen, *BRCA2*, zlokalizowany na chromosomie 13. Uczeni z Instytutu Badań nad Rakiem w Sutton (Anglia) podkreślali, że 90 procent wszystkich dziedzicznych przypadków raka piersi można wiązać z obecnością jednego z tych dwóch genów.

Badacze zwracali jednak uwagę na to, że *BRCA1* jest bardzo długi, zawiera do 12 tysięcy par zasad, spośród których zidentyfikowano dotąd tylko 7 tysięcy.

W szczególności, obecność genów *BRCA1* i *BRCA2* wiązana jest z rakiem piersi u konkretnej grupy ludności: pochodzących głównie z Europy Wschodniej Żydów aszkenazyjskich, stanowiących niemal 90% sześćo-milionowej populacji Żydów amerykańskich. Oba geny mogą być odpowiedzialne za 25% wczesnych przypadków raka piersi w tej grupie ludności. Gen *BRCA1* jest dość duży i znaleziono już 125 możliwych jego mutacji. Gen *BRCA2* może zawierać ich jeszcze więcej.

26. Carol W. Greider, Elizabeth H. Blackburn: Telomery, telomeraza i rak, "Świat Nauki", kwiecień 1996, s. 37.

27. *Ibidem*, s. 34.

28. "Time", 25 kwietnia 1994, s. 58.

29. "Time", wydanie specjalne, jesień 1996.

30. Lloyd J. Old: Immunoterapia nowotworów, "Świat Nauki", listopad 1996, s. 108.

31. Allen Oliff, Jackson B. Gibbs, Franek McCormick: Nowe cele molekularne, "Świat Nauki", listopad 1996, s. 119.

32. Lloyd J. Old: Immunoterapia nowotworów, "Świat Nauki", listopad 1996, s. 113.

33. J. Folkman: Atak na układ krwionośny guza, "Świat Nauki", listopad 1996, s. 122.

34. "New York Times", 6 czerwca 1995, s. C3.

35. *Ibidem*, s. 30.

36. Christopher Wills: *Exons, Introns, and Talking Genes*. Basic Books, Nowy Jork 1991, s. 310.

37. Lyon, Gorner: *Altered Fates*, s. 38.

38. Steve Jones: *The Language of Genes*. Anchor Books, Nowy Jork 1993, s. 73; "New York Times", 6 czerwca 1995, s. C3.

39. Jones: *The Language of Genes*, s. 73. Biorąc pod uwagę wszystkich żeńskich potomków królowej Wiktorii,

nosicielkami mogło być aż dwadzieścia kobiet, a wśród potomków męskich dziesięciu cierpiało na hemofilię. (*The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution*. Pod red. Steve'a Jonesa, Roberta Martina, Davida Pilbeama, Sarah Bunney. Cambridge University Press, Cambridge 1992, s. 260).

40. "Science News", 9 grudnia 1995, s. 394.

41. Jones: *The Language of Genes*, s. 73.

42. Lyon, Gorner: *Altered Fates*, s. 86.

43. Merrick (są tacy, którzy twierdzą, że w rzeczywistości mógł on cierpieć na schorzenie pokrewne, słonowaczną brodawkowatą) został uwieczniony w sztuce wystawianej na Broadwayu oraz w filmie. Michael Jackson, zaintrygowany tym przypadkiem, usiłował nawet kupić szkielet Merricka (Lyon, Gomer: *Altered Fates*, s. 337; Lee: *The Human Genome Project*, s. 195).

44. Jest niewykluczone, że wśród twoich znajomych są utajeni nosiciele mukowiscydozy. Ponieważ u każdego przedstawiciela rasy białej istnieje-

37. je prawdopodobieństwo nosicielstwa równe $1/25$, szansa znalezienia tego genu u obojga rodziców (z tej grupy ludności) wynosi $1/25 \times 1/25$. Wśród ich potomstwa $1/4$ osobników będzie miała recesywne formy obu genów. Tak więc częstość występowania mukowiscydozy jest równa $1/25 \times 1/25 \times 1/4$, czyli $1/2500$, co z grubsza jest właśnie częstością występowania tej choroby u przedstawicieli rasy białej w Stanach Zjednoczonych.

45. Wills: *Exons, Introns, and Talking Genes*, s. 195; Lyon, Gomer: *Altered Fates*, s. 384; Thomas F. Lee: *Gene Future*. Plenum Press, Nowy Jork 1993, s. 89.

46. Michael J. Welsh, Alan E. Smith: Mukowiscydoza, "Świat Nauki", luty 1996, s. 30.

47. Lee: *The Human Genome Project*, s. 263; Lee: *Gene Future*, s. 90; Lyon, Gorner: *Altered Fates*, s. 3, 215.

48. Wills: *Exons, Introns, and Talking Genes*, s. 216; Lee: *The Human Genome Project*, s. 93; Lee: *Gene Future*, s. 96.

49. "Time", 17 stycznia 1994, s. 48.

50. Lyon, Gorner: *Altered Fates*, s. 383, 398, 401.

51. Michael J. Welsh, Alan E. Smith: Mukowiscydoza, "Świat Nauki", luty 1996, s. 33.

52. Lyon, Gorner: *Altered Fates*, s. 92; Wills: *Exons, Introns, and Talking Genes*, s. 63.

53. Lyon, Gorner: *Altered Fates*, s. 355.

54. Wills: *Exons, Introns, and Talking Genes*, s. 192.

55. Lyon, Gorner: *Altered Fates*, s. 358.

56. "Time", wydanie specjalne, jesień 1996, s. 29.

57. Lee: *Gene Future*, s. 182.

58. "Time", wydanie specjalne, jesień 1996, s. 29.

59. Francis Collins, wywiad z autorem, 7 maja 1996.

60. Michael Blaese, wywiad z autorem, 7 maja 1996.

61. "New York Times", 31 października 1995, s. C3. W latach 60. na podstawie błędnego mniemania, że schizofreników można "wyleczyć" z ich wewnętrznych głosów za pomocą środków psychotropowych i neuroleptyków (Thorazyna), wypisano z państwowych szpitali setki i tysiące chorych. Wciąż zatopieni w chorobliwych wyobrażeniach, zasilili oni ostatecznie grupy bezdomnych koczujących w najgorszych dzielnicach miast (Lyon, Gorner: *Altered Fates*, s. 467).

62. Lyon, Gorner: *Altered Fates*, s. 468; Wills: *Exons, Introns, and Talking Genes*, s. 259.

63. "New York Times", 31 października 1995, s. C3.

64. Wywiad z Walterem Gilbertem.

Rozdział 9

MEDYCYNA MOLEKULARNA I ZJAWISKA PSYCHOSOMATYCZNE

1. Randolph M. Nesse, George C. Williams: *Why We Get Sick* Random House, Nowy Jork 1994, s. 52; Laurie Garrett: *The Corning Plague*. Penguin Books, Nowy Jork 1994, s. 33.

PRZYPISY • 529

2. *Viruses: The Greatest Threat to the Survival of Our Species*. Pangea Digital Pictures, IVN Communications, we współpracy z magazynem "Disco-ver".

3. Mumia faraona Ramzesa, co do którego istnieją przypuszczenia, że właśnie on zetknął się z Mojżeszem i wypędził Żydów z Egiptu, wydaje się zawierać ślady wskazujące, iż faraon zmarł na ospę (Arnold J. Levine: *Viruses*. Scientific American Books, Nowy Jork 1992, s. 57).

4. "The World Paper", maj 1996, s. 1. Ponieważ składający się z około 190 genów genom wirusa ospy został całkowicie odkodowany na potrzeby przyszłych badań, większość uczonych nie ma nic przeciwko ostatecznemu zniszczeniu zabójczego mikroba. Na wszelki wypadek, jako dodatkowy środek bezpieczeństwa (gdyby pojawiła się nagła, a nieoczekiwana konieczność ich użycia), zachowano szczepionki przeciwko wirusowi ospy.

5. Datę tę wielokrotnie już zmieniano i, zależnie od wyniku głosowania w najwyższych władzach Światowej Organizacji Zdrowia, ciągle może ona ulec przesunięciu. W kierownictwie tej organizacji istnieje pewna mniejszość, której zdaniem próbki z żywym wirusem ospy powinny zostać zachowane dla ewentualnych przyszłych badań. Ponieważ już od wielu lat WHO nie otrzymała sygnałów o przypadkach zachorowań na ospę (jest to czas znacznie dłuższy od okresu, w którym przenosi się infekcja), jest nadzwyczaj mało prawdopodobne, że wirus ten przetrwał gdzieś na Ziemi. Łańcuch infekcji został raz na zawsze przerwany.

6. Executive Summary of the World Health Report, 1996, s. 12, WHO Web Page: <http://www.who.org>.

7. W budynku 15 poddawany jest badaniom wirus Ebola, jeden z wirusów wywołujących gorączkę krwotoczną (Laurie Garrett: *Wirus Ebola - pytania bez odpowiedzi*, "Świat Nauki", grudzień 1995, s. 42-43), chorobę, w której zgon następuje w wyniku dziwnego, nie kontrolowanego krwawienia. Inne wirusy gorączki krwotocznej powodujące śmierć, a badane w CDC, to wirus Lassa, hantawirusy, wirus choroby denga, żółtej febry oraz wirusy zapalenia mózgu. Wirus Ebola jest tak tajemniczy, że nie wiemy nawet, jaki wektor (np. myszy, komary, wszy) przenosi chorobę, zanim zainfekowany zostanie człowiek (Bernard Le Guenno: *Odradzające się wirusy*, "Świat Nauki", grudzień 1995, s. 36-44).

8. "New York Times Magazine", 21 sierpnia 1994, s. 37.

9. Ann Giudici Fettner: *The Science of Viruses*. William Morrow, Nowy Jork 1990, s. 125.

10. Niestety, poznanie struktury rhinowirusa 14 nie ma decydującego znaczenia w walce przeciwko przeziębieniom. Istnieją setki różnych odmian wirusów wywołujących katar, trzeba byłoby zatem zainwestować nadzwyczaj wielkie sumy w przeprowadzenie frontalnego ataku na przeziębienia.

11. Ponadto możemy dostrzec, dlaczego jest tak łatwo zarazić się tego typu wirusem. "Piłka" wirusowa przyłącza się do limfocytów znajdujących się w płucach, przyklejając się do receptorów nazywanych międzykomórkowymi cząsteczkami adhezyjnymi, czyli ICAM (*intercellular adhesion mo-*

34 - Wizje

lecules). Jest to mechanizm bardzo sprytny. Nasz układ odpornościowy reaguje na obecność wirusów wywołujących przeziębienie, zwiększając liczbę cząsteczek ICAM, a tym samym wytwarza dodatkowe furtki, przez które wirusy mogą przenikać do wnętrza komórek, co jeszcze pogarsza sytuację (Nesse, Williams: *Why We Get Sick*, s. 42).

12. Istnieje opinia, że do wybuchu pandemii przyczynił się chaos społeczny towarzyszący końcowi I wojny światowej. Migracje dużych grup ludności mogły wpłynąć osłabiająco na układ odpornościowy wielu osób.

13. Fettner: *The Science of Viruses*, s. 134.

14. Enzo Russo, David Cove: *Genetic Engineering*. W. H. Freeman, Nowy Jork 1995, s. 62; "New York Times", 27 stycznia 1996, s. 21.

15. Fettner: *The Science of Viruses*, s. 132.

16. "Washington Post", 25 stycznia 1997, s. A1; "New York Times", 28 lutego 1997, s. A1.

17. "New York Times", 7 czerwca 1996, s. A3.

18. Według najbardziej optymistycznych szacunków, do roku 1993 w USA wirusem HIV zostało zarażonych 630 tysięcy do 900 tysięcy osób. W 1996 roku na choroby związane z AIDS umarło 50 tysięcy osób, a kolejnych 40 tysięcy

do 80 tysięcy zostało zarażonych. W XXI wieku głównymi ofiarami AIDS padną prawdopodobnie Afrykanie i Azjaci. Niestety, rządy i przywódcy religijni wykazują daleko posuniętą niechęć, jeśli niejawni opór, wobec wszelkich prób otwartej dyskusji na temat tej choroby. Należy zatem spodziewać się niczym nie powstrzymanego jej pochodzenia przez kraje Trzeciego Świata.

W niektórych rejonach aż do 40% populacji dorosłych jest już zarażonych wirusem HIV. W leżących na południe od Sahary krajach afrykańskich, Botswanie, Ugandzie czy Zimbabwie, nawet czwarta część ludności może umrzeć z powodu AIDS.

Chociaż większość złych wieści płynie z Afryki, następne największe zagrożenie epidemią AIDS dotyczyć będzie Azji, gdzie żyje 2/3 populacji świata. Analizując alarmujące trendy demograficzne w krajach azjatyckich, WHO spodziewa się najgorszego. Według danych tej organizacji, w Azji jest już 3,5 miliona zarażonych wirusem HIV. Do roku 2000 liczba ta wzrośnie do 12 milionów. W najlepszym razie, do roku 2015 na AIDS umrze 10 milionów mieszkańców Azji.

19. Martin A. Nowak, Andrew J. McMichael: W jaki sposób wirus HIV pokonuje układ odpornościowy, "Świat Nauki", październik 1995, s. 46.

20. "New York Newsday", 21 grudnia 1993, s. 63.

21. Meyers znalazł następujące podklasy HIV-1:

Podklasy HIV-1	Teren występowania
Typ A	Środkowa i południowa Afryka, Indie
Typ B	Ameryka Północna, Peru, Europa, Brazylia, południowa Tajlandia, Afryka
Typ C	Malezja, Indie, Ameryka Południowa
Typ D	Rwanda, Tanzania, Uganda
Typ E	Afryka, Tajlandia, Indie
Typ F	Rumunia, Gabon, Zair, Brazylia

22. *Ibidem*.

23. "Discover", czerwiec 1996, s. 69.

24. *Ibidem*, s. 494.

25. Dzięki dokładniejszym badaniom genomu osób opornych na HIV dość szybko odkryto, że występuje u nich mutacja powodująca pewną zmianę w układzie odpornościowym. Polega ona na tym, że wirus HIV nie może przyłączyć się do limfocytów T. Zwykle komórki T na swojej błonie mają "miejsce dokowania" wykorzystywane przez wirus HIV do zacumowania na powierzchni komórki, by wnikać do jej wnętrza. Jednakże na powierzchni zmutowanych wersji limfocytów T nie ma tych miejsc do "zacumowania" i stąd wynika prawdopodobnie całkowita oporność na AIDS.

Po sklonowaniu tych genów uczeni poznali zasadę działania tego niezwykłego mechanizmu. Każdy z nas posiada dwie kopie genu *CKR5*. Gen ten, długości około 1000 par zasad, koduje białko "dokujące" na powierzchni komórek T. W zmutowanej formie genu brak około 32 par zasad, co odbija się na strukturze białka.

Ktoś, kto odziedziczył dwie zmutowane kopie genu *CKR5* (po jednym od każdego z rodziców), jest całkowicie oporny na AIDS, ponieważ wirus HIV nie ma możliwości przyłączenia się do powierzchni limfocytów T. Jednak jeśli ktoś odziedziczył tylko jedną zmutowaną formę genu to, co prawda, miejsc cumowania wirusa na komórkach T jest mniej, ale jednak istnieją, a to już wystarcza, żeby stracić oporność. Osoby z jedną zmutowaną wersją *CKR5* żyją nieco dłużej od chwili zakażenia, około 13 lat, w porównaniu ze średnim okresem przeżywalności wynoszącym 10 lat.

26. I po prawdzie, bakterie powinny być właśnie bezbronne jak dzieci. Bakterie mają swój własny metabolizm, a dla ich reprodukcji musi zajść wiele złożonych procesów molekularnych. Zaatakować je można zatem na wiele sposobów, zakłócając przebieg którejkolwiek z tych reakcji.

27. "Parade", 23 kwietnia 1995, s. 10.

28; Wzrost liczby zachorowań na chorobę legionistów jest wynikiem szeregowego stosowania urządzeń klimatyzacyjnych. Sztucznie wytworzone środowisko wodne hotelowych systemów klimatyzacyjnych okazało się wylegarnią tej choroby. Z kolei zespół wstrząsu toksycznego ma związek z wprowadzeniem nowego rodzaju superabsorbujących tamponów, które dzięki nadzwyczaj rozwiniętej powierzchni i obfitości tlenu utworzyły całkowicie

nowe środowisko dla rozwoju mikrobów. Powstały idealne warunki do namnażania się bakterii *Staphylococcus aureus*. W nowym środowisku rozmnaża się ona 10 tysięcy razy szybciej niż normalnie, wydzielając olbrzymie ilości śmiertelnej trucizny zwanej TSST-1 (Garrett: *The Corning Plague*, s. 408, 553). Borelioza stała się groźna wraz z rozbudową przedmieść na terenach zamieszkałych przez jelenie i myszy. Kleszcze, będące pasożytami tych zwierząt, są nosicielami boreliozy (wywoływanej przez bakterię *Borrelia burgdorferi*).

29. G. Youmans, P. Paterson, H. Sommers: *The Biological and Clinical Basis of Infectious Diseases*. W. B. Saunders, Filadelfia 1980.

30. Nesse, Williams: *Why We Get Sick*, s. 51.

31. Bernard Dixon: *Power Unseen*. W. H. Freeman, Nowy Jork 1994, s. 21; "New York Times", 26 kwietnia 1996, s. D1.

32. Russo, Cove: *Generic Engineering*, s. 97.

33. *Ibidem*, s. 96.

34. "Washington Post", 27 czerwca 1995, s. A6.

35. "Discover", sierpień 1994, s. 46.

36. "Washington Post", 14 kwietnia 1996, s. H1. Abigail Salyers i Dixie Whitt bez ogródek potępiają kierowane chęcią zysku zaniechanie badań: "Ze względu na obecne nasycenie rynku antybiotykami firmy farmaceutyczne poddają się po prostu prawom rynku, zamykając lub drastycznie redukując programy poszukiwania nowych antybiotyków" (Abigail A. Salyers, Dixie D. Whitt: *Bacterial Pathogenesis*. ASM Press, Waszyngton 1994, s. 101).

37. "Washington Post", 27 czerwca 1995, s. A6.

38. Jako przykład może służyć ludzka insulina. Zanim, dzięki metodom inżynierii genetycznej, stało się możliwe produkowanie jej w ilościach nieograniczonych, lekarze byli zmuszeni stosować w kuracji cukrzyków insulinę świni. Często towarzyszyły temu nieprzyjemne efekty uboczne. Podobnie neuroleptyki stosowane w leczeniu schizofrenii powinny być przyjmowane pod ścisłym nadzorem lekarza, gdyż czasami mogą powodować dziwaczne ruchy języka.

39. "Discover", sierpień 1994, s. 49.

40. *Ibidem*.

41. *Ibidem*.

42. Nesse, Williams: *Why We Get Sick*, s. 54.

43. Paul Allan Cox, Michael J. Balick: Poszukiwanie leków metodą etno-botaniczną, "Świat Nauki", sierpień 1994, s. 64.

44. "New York Times", 26 kwietnia 1996, s. D3.

45. "Discover", listopad 1993, s. 60.

46. Paul Allan Cox, Michael J. Balick: Poszukiwanie leków metodą etno-botaniczną, "Świat Nauki", sierpień 1994, s. 64.

47. "Washington Post", 14 kwietnia 1996, s. H6.

48. *Ibidem*.

49. "New York Times", 17 grudnia 1996, s. C3.

50. Annika Rosengren i in.: Stressful Life Events, Social Support, and Mortality in Men Born in 1933, "British Medical Journal", październik 1993.

51. Sheldon Cohen i in.: Psychological Stress and Susceptibility to the Common Cold, "New England Journal of Medicine", 325 (1991).

52. Bruce McEwen, Eliot Stellar: Stress and the Individual: Mechanisms Leading to Disease, "Archives of Internal Medicine", 153 (27 września 1993); M. Robertson, J. Ritz: Biology and Clinical Relevance of Human Natural Killer Cells, "Blood", 76 (1990).

53. Ronald Glaser, Janice Kiecolt-Glaser: Psychological Influences on Immunity, "American Psychologist", 43 (1988); H. E. Schmidt i in.: Stress as a Precipitating Factor in Subjects with Recurrent Herpes Labialis, "Journal of Family Practice", 20 (1985).

54. Joseph C. Courtney i in.: Stressful Life Events and the Risk of Colorectal Cancer, "Epidemiology", 4 (5) (wrzesień 1993).

55. Robert Anda i in.: Depressed Affect, Hopelessness, and the Risk of Ischemic Heart Disease in a Cohort of U.S. Adults, "Epidemiology", lipiec 1993.

56. Chris Peterson i in.: *Learned Helplessness: A Theory for the Age of Personal Control* Oxford University Press, Nowy Jork 1993.

57. Carl Thoreson: International Congress of Behavior Medicine, Uppsala, Szwecja, lipiec 1990.

58. Nancy Frasure-Smith i in.: Depression Following Myocardial Infarction, "Journal of the American Medical Association", 20 października 1993.

59. David Spiegel i in.: Effect of Psychosocial Treatment on Survival of Patients with Metastatic Breast Cancer,

"Lancet", nr 8668, II (1989).

60. Należy jednak podkreślić, że wyniki przeprowadzonych niedawno badań przeczyły niektórym z tych rezultatów. Jak w każdym dociekaniu naukowym, jedynie kolejne serie badań, prowadzone na liczniejszych grupach ludzi, są w stanie udzielić ostatecznej odpowiedzi. Nauka opiera się zawsze na wynikach powtarzalnych.

61. "Washington Post", 17 października 1996, s. A8; "New England Journal of Medicine", październik 1996.

62. M. Stehling, R Turner, P. Mansfield: Echo-Planar Imaging: MRI in a Fraction of a Second, "Science" 254 (1991), s. 2-11; Clement Bezold, Jerome A. Halperin, Jacqueline L. Eng: 2020 *Visions*. U.S. Pharmacopeial Convention Press, Rockville, Maryland 1993, s. 121.

63. "New York Times", 19 listopada 1996, s. C9.

Rozdział 10 ŻYCIE WIECZNE?

1. Leonard Hayflick: *How and Why We Age*. Ballantine Books, Nowy Jork 1994, s. 259. Wywiad z autorem, 15 listopada 1996.

2. Wpływ genów na długość życia nie podlega dyskusji. Kontrowersyjną sprawą pozostaje natomiast, czy rzeczywiście istnieje niewielka garstka genów kontrolujących procesy starzenia się. Wielu uczonych uważa, że podczas ewolucji powstały geny "wytargowane": z jednej strony są korzystne, ale mogą jednocześnie stwarzać problemy gdzie indziej. Ewolucja może preferować jakiś gen, dzięki któremu za młodu tryskamy życiem i energią, ale na starość działanie tego genu może szkodzić naszemu organizmowi. Tak więc, jeśli nawet moglibyśmy zmodyfikować pewne geny, które by nas odmłodziły, to w dojrzałym organizmie mogłyby one przyspieszyć degradację niektórych organów ciała. Jako że ewolucja dba głównie o zdrowie osobników w wieku rozrodczym, może okazać się, że nie ma żadnego specjalnego zbioru genów, które miałyby za zadanie przedłużać życie. Jeśli tak jest w istocie, to "subtelne przestrojenie" naszych genów tak, byśmy byli zdrowsi i dłużej żyli, może okazać się nadzwyczaj trudnym pro-

1. cessem wymagającym skorelowania działań być może setek, jeśli nie tysięcy genów.

3. Leonard Hayflick wyrażał bardzo poważne wątpliwości co do pomysłów przedłużania życia, jeśli miałyby to się łączyć z wielkim ludzkim cierpieniem. Ponadto dłuższe życie oznacza zużywanie zasobów, z których lepiej mogłyby skorzystać młodsze pokolenia (wywiad).

4. Z badań nad zwierzętami [i światem roślinnym] wynika, że istnieje zadziwiający rozrzut długości życia dla różnych gatunków. Muszki owocowe żyją jedynie 3 tygodnie. Myszy - 2 do 3 lat. Słonie żyją do 70 lat. Zgodnie z wynikami badań metodą datowania posługującą się rozpadem promieniotwórczym izotopów węgla, pewien gatunek sosny (*Pinus arista-ta*) żyje 5000 lat. Ale światowy rekord należy do krzewów kreozotowych z pustyni Mojave w Kalifornii, które przeżyły od czasów ostatniego wielkiego zlodowacenia, około 11 000 lat (Jeff Lyon, Peter Gomer: *Altered Fa-tes*. W. W. Norton, Nowy Jork 1995, s. 509).

5. Hayflick: *How and Why We Age*, s. 21. Wywiad.

6. *Ibidem*.

7. Hayflick: *How and Why We Age*, s. 86.

8. Lyon, Gomer: *Altered Fates*, s. 516.

9. "New York Times", 27 stycznia 1996, s. 21.

10. Randolph M. Nesse, George C. Williams: *Why We Get Sick*. Random House, Nowy Jork 1994, s. 108.

11. Badania przeprowadzone w Stanach Zjednoczonych na grupie 20 tysięcy osób w wieku powyżej 65 lat wykazały, że w kolejnych pokoleniach coraz mniej ludzi cierpi na przewlekłe schorzenia. Dla tej samej grupy wiekowej w każdym następnym pokoleniu spotyka się coraz mniej chorób wieku starczego. Już teraz ma to wielki wpływ na wydatki systemu ubezpieczeń zdrowotnych. Dr Kenneth Manton z Uniwersytetu Duke'a wykazał, że gdyby starsi ludzie w roku 1995 cierpieli na tyle samo chorób, co ludzie w tej samej grupie wiekowej w roku 1982, w 1995 roku koszty leczenia ponoszone przez system Medicare byłyby wyższe o 200 miliardów dolarów!

12. Zakładamy tutaj, że nasz Wszechświat nie zawiera wystarczająco wiele materii na to, by odwrócił się kierunek ekspansji wywołanej Wielkim Wybuchem. Choć dotychczas zgadza się to z danymi eksperymentalnymi, kwestia pozostaje otwarta, gdyż nie wiemy, ile ciemnej materii istnieje we Wszechświecie.

13. Leonard Hayflick: wywiad z autorem, 15 listopada 1996.

14. Hayflick: *How and Why We Age*, s. 244.

15. *Ibidem*, s. 246.

16. Hayflick sądzi, że przedsięwzięcie tych środków może zapobiec wielu chorobom i chwilowo obniżyć roczne statystyki zgonów. Jednak w sumie, kiedy ludzie osiągną maksymalną długość życia, i tak zaczną umierać, nawet przy stosowaniu tych terapii (wywiad).

17. *Ibidem*.

18. *Ibidem*
19. *Ibidem*.
20. *Ibidem*, s. 514.
21. *Ibidem*, s. 515.
22. *Ibidem*

23. "Newsweek", 16 września 1996, s. 75.

24. Lyon, Gerner: *Altered Fates*, s. 508.

25. "New York Times", 15 kwietnia 1996, s. A13.

26. Co wpłynęło na taką rozbieżność wyników? Według Papadakis powodem było to, że Rudman nie przeprowadził ślepej próby. Pacjenci w grupie Rudmana wiedzieli, że przyjmują hormon wzrostu, i może siła sugestii, czyli efekt placebo, wpłynęła na wyniki.

Tak więc wydaje się, że hormon wzrostu ma znikomy wpływ na konstytucję ciała. Owszem, powoduje nawrót sił, ale nie usprawnia działania organizmu. Poza tym wywołuje skutki uboczne, jak obrzęk niektórych tkanek, pogorszenie stanu zdrowia u cukrzyków i zastoinową niewydolność serca ("New York Times", 18 lipca 1995, s. C1).

27. Hayflick: *How and Why We Age*, s. 232.

28. Lyon, Gerner: *Altered Fates*, s. 514.

29. "Science News", 24 czerwca 1995.

30. "Washington Post", 20 sierpnia 1996, s. 7.

31. Wywiad z Leonardem Hayflickiem.

32. Lyon, Gerner: *Altered Fates*, s. 521.

33. "New York Times", 7 grudnia 1993, s. C13.

34. *Ibidem*.

35. *Ibidem*.

36. Lyon, Gerner: *Altered Fates*, s. 437.

37. *Ibidem*, s. 521.

38. Hayflick: *How and Why We Age*, s. 64.

39. Na podstawie wyników tych badań stwierdzono, że posiadanie długowiecznych rodziców i dziadków nie gwarantuje długiego życia, ale ludzie, którzy mieli przodków dożywających późnej starości, mają statystycznie większe szanse na odziedziczenie tej cechy. Badacze podali nawet matematyczną formułę pozwalającą obliczyć prawdopodobieństwo odziedziczenia jej.

40. Najważniejsze spośród tych zaburzeń nosi nazwę progerii i objawia się kaskadą chorób i zmian starczych. Choroba ta występuje rzadko (w USA odnotowano zaledwie 12 przypadków), ale jej postępy mają zadziwiający przebieg. W rozwoju dziecka zaobserwować można wiele oznak upośledzenia, twarz zaczyna przybierać ptasi wygląd, oczy stają się wylupiaste, nos haczykowaty, skóra pomarszczona i pojawia się łysienie. Pomimo tych zewnętrznych oznak starzenia się rozwój umysłowy przebiega normalnie. Dość szybko pojawiają się choroby serca i arterioskleroza, poziom cholesterolu oraz ciśnienie krwi gwałtownie podnoszą się i w wieku 12-13 lat następuje śmierć. Podczas sekcji zwłok tych nieszczęśliwych dzieci okazuje się, że wewnętrzne organy ciała wyglądają, jakby były wielokrotnie starsze niż są w rzeczywistości. Chociaż nie odkryto nigdy przyczyn tej choroby,

27. uważa się, że progeria wywołwana jest przez dominujący defektywny gen (Hayflick: *How and Why We Age*, s. 107).

Ustalono wszakże genetyczne podstawy innej choroby objawiającej się zmianami starczymi, zaczynającej się w wieku młodzieńczym. Jest nią zespół Wernera, schorzenie występujące na świecie w 10 przypadkach na milion urodzeń. Przebieg choroby jest również dramatyczny: włosy siwieją i wypadają, skóra przybiera zwiędły wygląd, kości stają się niebezpiecznie kruche i pojawia się zaćma. Śmierć następuje zwykle z powodu ataku serca lub raka po 40 roku życia. Wykazano, że choroba ta jest dziedziczona w sposób recesywny po obojgu rodzicach.

41. Lyon, Gerner: *Altered Fates*, s. 517.

42. Thomas T. Perls: Krzepcy starszankowie, "Świat Nauki", marzec 1995, s. 36.

43. Christopher Wills: *Exons, Introns, and Talking Genes*. Basic Books, Nowy Jork 1991, s. 5.

44. Jeśli chodzi o wypuszczanie na rynek leków, które mogłyby ingerować w działanie genów związanych z procesami starzenia się, biolodzy ewolucyjni są bardziej ostrożni niż biolodzy molekularni. Wskazują oni, że ewentualny gen wieku, przyspieszający procesy uwiędnięcia i starzenia, może mieć inny, ukryty przed nami cel, istotny w okresie młodości. Geny często pełnią więcej niż jedną funkcję. Ewolucja preferuje geny, które podtrzymują młodość i żywotność tak długo, jak długo jesteśmy płodni i możemy mieć potomstwo. Geny dbające o nasze zdrowie w młodości mogą mieć jednak wtórne działanie - przyspieszać procesy starzenia się w okresie, kiedy nasze lata płodne są już za

nami.

Na przykład, ewolucja może preferować gen, dzięki któremu w młodości mogą się nam szybko zrastać kości. Jednakże, jeśli gen ten wypełnia swoją funkcję przez gromadzenie wapnia, może się z czasem okazać, że kiedy już minął okres rozrodczy, pojawiają się niezamierzone skutki w postaci wapnia odkładającego się w naczyniach krwionośnych. Tak więc gen dbający o nasze zdrowie, kiedy jesteśmy płodni, może przyspieszać procesy starzenia się w okresie, kiedy nie możemy już mieć dzieci.

Za inny przykład może posłużyć układ odpornościowy. Kiedy jesteśmy młodzi, nasze geny mogą zaprogramować układ immunologiczny tak, by produkował wszelkie skutecznie działające substancje chemiczne pomocne w walce z zarazkami. Jednakże po latach może się okazać, że te same związki powodują nagromadzenie się uszkodzeń w naszych komórkach, albo wręcz raka.

Jeśliśmy zatem nawet znaleźli gen, który przyspiesza zmiany starcze w okresie, kiedy najlepsze lata mamy już za sobą, powinniśmy być niezwykle ostrożni z jego eliminacją - może okazać się, że nic nie wiemy o jego mimowolnych działaniach, niezbędnych dla zachowania zdrowia w młodości.

Jak twierdzą Randolph Nesse i George Williams w *Why We Get Sick* (Random House, Nowy Jork 1994): "Starzenie się jest ceną, jaką płacimy za wigor w młodości".

45. Lyon, Gorner: *Altered Fates*, s. 524.

46. Jednym z zastrzeżeń pod adresem tej pracy jest to, że nie wzięto pod uwagę faktu, iż dziko żyjące zwierzęta różnią się od zwierząt laboratoryjnych: zwierzęta żyjące na wolności nie korzystają z "regularnej diety", lecz są padlinożercami i łowcami, odżywiającymi się nieregularnie i zazwyczaj w niewystarczającym stopniu. Być może, twierdzą krytycy, eksperymenty te dowodzą czegoś wręcz przeciwnego, mianowicie, że regularna, bogata w składniki odżywcze dieta przekarmionych, zdrowych zwierząt laboratoryjnych przyczynia się do skrócenia ich życia. Może naukowcy, zamiast wydłużać czas życia zwierząt trzymany na ubogiej diecie, w rzeczywistości skracają życie zwierząt przekarmionych? Należy jednak zauważyć, że nawet jeśli jest to prawdą, to i tak ograniczona dieta pozytywnie koreluje z długością życia, w porównaniu z dietą wysokokaloryczną. Niestety, w pełni kontrolowane eksperymenty tego typu na zwierzętach żyjących na wolności są trudne i nigdy nie były przeprowadzane.

47. "New York Times", 30 kwietnia 1996, s. C7.

48. Nesse, Williams: *Why We Get Sick*, s. 118.

49. Lyon, Gorner: *Altered Fates*, s. 528.

50. Robert Langer, Joseph P. Vacanti: Sztuczne narządy, "Świat Nauki", listopad 1995, s. 96-99; Robert Langer, Joseph P. Vacanti: Tissue Engineering, "Science", 260 (14 maja 1993), s. 920-926.

51. Sasha Nemecek: Mieć serce: inżynieria tkankowa - alternatywą transplantologii, "Świat Nauki", sierpień 1995, s. 20

52. D. J. Mooney, G. Organ, J. Vacanti, R. Langer: Design and Fabrication of Biodegradable Polymer Devices to Engineer Tubular Tissues, "Cell Transplantation", 3 (nr 2) 1994, s. 203-210.

53. "New York Times Magazine", 29 września 1996, s. 152.

54. Wywiad z Walterem Gilbertem, 30 grudnia 1996.

55. "New York Times", 22 października 1996, s. C3.

56. Robert Langer, Joseph P. Vacanti: Sztuczne narządy, "Świat Nauki", listopad 1995, s. 97.

Rozdział 11

ZABAWA W PANA BOGA

1. Steve Jones: *The Language of Genes*. Anchor Books, Nowy Jork 1993, s. 235.

2. Thomas F. Lee: *Gene Future*, Plenum Press, Nowy Jork 1993, s. 288.

3. Steve Jones, Robert Martin, David Pilbeam, Sarah Bunney (red.): *The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution*. Cambridge University Press, Cambridge (Anglia) 1994, s. 94.

4. *The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution*, s. 382.

5. Jeśli porównamy zwierzęta udomowione (owce, bydło, kozy, woły itd.) z ich przodkami, to okaże się, że wykazują one wszystkie podobne, ujemne efekty krzyżowania: mniejsze rozmiary ciała, mniejszy mózg, krótszy pysk, otłuszczenie.

Objętość mózgu psa, na przykład, zmalała z około 400

1. do 250 cm³ po udomowieniu tego zwierzęcia. Hodowla i krzyżowanie mają tak radykalny wpływ na stan wielu udomowionych gatunków, że zwierzęta te prawdopodobnie nie przeżyłyby na wolności ("Discover", październik 1994, s. 98).

6. *The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution*, s. 376.

7. "New York Times", 16 stycznia 1990, s. 241.

8. Enzo Russo, David Cove: *Genetic Engineering*. W. H. Freeman, Nowy Jork 1995, s. 74, 93.

9. *Ibidem*, s. 95.

10. Lee: *Gene Future*, s. 166.

11. *Ibidem*, s. 174.

12. Palmiter oczywiście rozumiał szerokie możliwości wynikające z jego odkrycia. W swojej publikacji w "Nature" stwierdził, że technika ta może być zastosowana do "korygowania lub naśladowania pewnych schorzeń genetycznych". Dodał również, że mogłaby "stymulować rozwój hodowli zwierząt o znaczeniu gospodarczym".

13. Lee: *Gene Future*, s. 288.

14. Wywiad z Lesterem Brownem, World Watch Institute.

15. "New York Times", 3 marca 1996, s. 3-1.

16. *Ibidem*.

17. *Ibidem*.

18. *Ibidem*.

19. "New York Times", 16 stycznia 1990, s. C1.

20. I. Wilmut i in.: Viable Offspring Derived from Fetal and Adult Mammalian Cells, "Nature", 27 lutego 1997, s. 810.

21. "Time", 10 marca 1997, s. 65.

22. W. Wayt Gibbs: Obrastanie w tłuszcz, "Świat Nauki", październik 1996, s. 70.

23. "New York Times", 30 lipca 1996, s. C9.

24. "Science News", 3 czerwca 1995, s. 348.

25. "New York Times", 13 lutego 1996, s. C7.

26. Lisa C. Ryner i in.: Control of Male Sexual Behavior and Sexual Orientation in *Drosophila* by the fruitless Gene, "Cell", 13 grudnia 1996, s. 1079.

27. Thomas J. McHugh i in.: Impaired Hippocampal Representation of Space in CA1-Specific NMDAR1 Knockout Mice, "Cell", 27 grudnia 1996, s. 1339.

28. Wywiad z Walterem Gilbertem.

29. Klaus-Peter Lesch i in.: Association of Arousal-Related Traits with a Polymorphism in the Serotonin Transporter Gene Regulatory Region, "Science", 29 listopada 1996, s. 1527.

30. "Newsweek", 29 lipca 1996, s. 78.

31. Rudolf A. Raff: *The Shape of Life*. University of Chicago Press, Chicago 1996, s. XV.

32. W. J. Dickinson i in.: Eye Evolution, "Science", 26 kwietnia 1996, s. 5261.

33. "New York Times", 24 marca 1995, s. A1.

34. "Discover", lipiec 1996, s. 114.

35. *Ibidem*.

Rozdział 12

PO DŁUŻSZYM NAMYŚLE

1. Aldous Huxley: *Brave New World*. Harper, Nowy Jork 1946, s. XVII. Wyd. polskie: *Nowy, wspaniały świat*. Tłum. Bogdan Baran. Wydawnictwo Literackie, Kraków 1988.

2. Do posiadania arsenałów jądrowych otwarcie przyznają się USA, Wielka Brytania, Francja, Rosja i Chiny. Status niektórych republik b. Związku Radzieckiego wciąż jest sprawą otwartą i nadal podlega negocjacom. Rząd Afryki Południowej przyznał się do skonstruowania w tym kraju siedmiu bomb atomowych, które jednak rozmontowano. Izrael jest podejrzewany o posiadanie 200 bomb. Indie przeprowadziły próbę jądrową w latach 70. Podejrzewa się również, że Pakistan posiada broń jądrową. Sytuacja Korei Północnej pozostaje w tym względzie ciągle niejasna.

3. Wywiad z Rebecą Goldberg.

4. "New York Times", 27 sierpnia 1995, s. 30.

5. Wywiad z Rebecą Goldberg.

6. *Ibidem*.

7. *Ibidem*.
8. Thomas F. Lee: *Gene Future*. Plenum Press, Nowy Jork 1993, s. 301.
9. "Discover", styczeń 1997, s. 78.
10. Wywiad z Francisem Collinsem.
11. Lols Wingerson: *Mapping Our Genes*. Penguin Books, Nowy Jork 1990, s. 297.
12. "Newsweek", 23 grudnia 1996, s. 47.
13. Wywiad z Arthurem Caplanem.
14. Jeff Lyon, Peter Gorner: *Altered Fates*. W. W. Norton, Nowy Jork 1995, s. 484.
15. Wywiad z Francisem Collinsem.
16. Arthur Caplan, wywiad z autorem, 21 lipca 1996.
17. Christopher Wills: *Exons, Introns, and Talking Genes*. Basic Books, Nowy Jork 1991, s. 10.
18. "Washington Post", 4 listopada 1996, s. A2.
19. Zwykle mężczyźni mają układ chromosomów XY, a kobiety XX.
20. Wingerson: *Mapping Our Genes*, s. 95.
21. "Washington Post", 29 stycznia 1995, s. C4.
22. Wywiad z Arthurem Caplanem.
23. Enzo Russo, David Cove: *Genetic Engineering*. W. H. Freeman, Nowy Jork 1995, s. 170.
24. Thomas F. Lee: *The Human Genome Project*. Plenum Press, Nowy Jork 1991, s. 276.
25. Lee: *Gene Future*, s. 160.
26. Uczestnicy spotkania zorganizowanego przez Radę Międzynarodowych Organizacji Nauk Medycznych w Japonii w roku 1990 przyjęli nieco inną postawę wobec tego problemu: "Chociaż terapia genowa linii zarodkowej nie jest obecnie brana pod uwagę, to istnieje potrzeba dalszej dyskusji na ten temat. Nie należy przedwcześnie odrzucać możliwości terapii komórek linii zarodkowej. Nie jest wykluczone, że kiedyś metoda ta umożliwi rozwiązania kliniczne, których nie będzie można osiągnąć żadną inną drogą" (*ibidem*, s. 161).
27. Wywiad z Arthurem Caplanem.
28. *Ibidem*.
29. *Ibidem*,
30. Wywiad z Francisem Collinsem.
31. "Washington Post", 11 maja 1996, s. A1.
32. "New York Times", 7 czerwca 1996, s. A11.
33. "Science News", 7 września 1996, s. 154.
34. "Time", 10 marca 1997, s. 72.
35. Lee: *The Human Genome Project*, s. 275.
36. Steve Jones: *The Language of Genes*. Anchor Books, Nowy Jork 1993, s. 224.
37. *Ibidem*, s. 224.
38. *Ibidem*, s. 150.
39. Cranor: *Are Genes Us?*, s. 170.
40. Jak na ironię, Morlokowie mścili się za swoją sytuację. Oni zjadali Eloi.
41. Suzuki: *Genetics*, s. 197.
42. *Ibidem*.
43. *Ibidem*.
44. *Ibidem*.
45. *Ibidem*.
46. *Ibidem*.
47. *Ibidem*.
48. *Ibidem*, s. 93-94.
49. *Ibidem*.

50. Charles Piller, Keith R. Yamamoto: *Gene Wdr.* William Morrow, Nowy Jork 1988, s. 99.

51. Te utajnione testy przeprowadzono w zaopatrzeniowej bazie wojskowej Mechanicsburg w Pensylwanii. Odpowiedni dokument stwierdza: "Schemat dotyczył dużej liczby pracowników fizycznych, w tym wielu Murzynów, których ewentualna niezdolność do pracy mogłaby zagrozić systemowi dostaw. Ponieważ Murzyni są bardziej podatni na *Coccidioides* niż biali, działanie grzyba tej grupy symulowane było podawaniem *Aspergillus fumigatus*" (*ibidem*).

52. Wywiad z Charlesem Pillerem; Piller, Yamamoto: *Gene Wars*, s. 100.

53. Wywiad z Francisem Collinsem.

54. Leonard A. Cole: Widmo zagrożenia bronią biologiczną, "Świat Nauki", luty 1997, s. 48.

10. Rozdział 13 PRZYSZŁOŚĆ KWANTOWA

1. Gary Stix: Czekając na przełom, "Świat Nauki", czerwiec 1996, s. 74.

2. Richard Feynman: There's Plenty of Room at the Bortom, "Engineering and Science", luty 1960. Dokładniej - przedmiotem konkursu było pomniejszenie strony książki 25 tysięcy razy tak, by tekst mógł być odczytywany pod mikroskopem elektronowym. Druga tysiąc dolarowa nagroda przeznaczona była dla osoby, która skonstruuje normalnie pracujący silnik elektryczny o wymiarach rzędu pół milimetra sześciennego.

3. Gary Stix: Czekając na przełom, "Świat Nauki", czerwiec 1996, s. 74.

4. "New York Times", 27 stycznia 1997; "High Technology Careers", luty-marzec 1997, s. 1.

5. "New York Times", 27 stycznia 1997, s. D12.

6. "New York Times", 19 listopada 1996, s. C1.

7. "Science News", 9 marca 1996, s. 157.

8. Tony R. Eastham: Szybka kolej: następny złoty wiek?, "Świat Nauki", listopad 1995, s. 70.

9. Harold P. Furth: Synteza termojądrowa, "Świat Nauki", listopad 1995, s. 140.

10. W oszacowaniu tym jest wiele niepewności. Nie możemy przewidzieć, ile jeszcze złóż zostanie odkrytych i jaka będzie szybkość zużycia ropy naftowej w przyszłości. Dla żadnego z tych czynników nie można podać dokładnych wartości.

11. Deuter jest izotopem wodoru. Jądro atomu zwykłego wodoru to pojedynczy proton, natomiast jądro deuteru zawiera proton i neutron. W najprostszej wersji fuzja termojądrowa przeprowadzana jest pomiędzy deuterem i trytem. Tryt jest jeszcze innym izotopem wodoru, zawiera w jądrze jeden proton i dwa neutrony.

12. T. J. Thorripson, J. G. Beckerley: *The Technology of Nuclear Reactor Safety*. MIT Press, Cambridge, Mass. 1964, tom 1, s. 631.

13. Ponieważ rdzeń zawierał uran wzbogacony do 25%, o wiele więcej niż obecne 3%, istniało niebezpieczeństwo, że płynny uran może zacząć się przemieszczać i w którymś miejscu osiągnie masę krytyczną. To mogłoby grozić gwałtownym wybuchem, skala wypadku byłaby znacznie większa. W związku z tym naukowcy bardzo ostrożnie sondowali rdzeń, aby nie doprowadzić do mieszania się stopionego uranu. Ostatecznie wykryto, że przyczyną całej awarii było przegrzanie spowodowane niedostatecznym przepływem ciekłego sodu w instalacji chłodzącej reaktora. W przewodach chłodzących oderwał się kawałek cyrkonu i zatkał drogę cieczy chłodzącej. Kierownictwu siłowni udało się również zablokować możliwość przecieku informacji o wypadku do wiadomości publicznej.

14. William Hoagland: Energia słoneczna, "Świat Nauki", listopad 1995, s. 134.

15. *Ibidem*, s. 137.

16. *Ibidem*, s. 137.

17. "The Economist", 22 czerwca 1996, s. 8.

18. World Watch Institute ocenia, że zanieczyszczenie powietrza w Stanach Zjednoczonych jest tak duże, że jedynie 1 na 5 mieszkańców miast oddycha czystym powietrzem. Wywiad z Lesterem Brownem.

19. Daniel Sperling: Samochody elektryczne, "Świat Nauki", styczeń 1997, s. 34.

20. *Ibidem*, s. 38.

21. *Ibidem*, s. 39.

22. *The Computer in the 21st Century*. Scientific American Books, Nowy Jork 1995, s. 62.

23. Powtórna kalibracja odczytu energii wykazała, że laser rentgenowski o zasilaniu jądrowym generowałby w istocie mniej energii w impulsie, niż się spodziewano. O wiele za mało, by użyć go w Wojnach Gwiezdnych. Co więcej, cały program można by sparaliżować

zastosowaniem prostych przeciwśrodków, na przykład wyrzuceniem do atmosfery milionów balonów o metalizowanej powierzchni lub innych obiektów, których obecność wprowadziłaby w błąd radarzy naziemne, uniemożliwiając precyzyjne skierowanie wiązki lasera rentgenowskiego.

24. Cząstki antymaterii mają ładunek przeciwny do odpowiadających im cząstek materii. Tak więc antyelektrony (pozytony) są naładowane dodatnio. W antyatomie dodatni antyelektron krąży dookoła jądra zawierającego ujemnie naładowany antyproton. Antyatom jest więc obojętny elektrycznie. W zasadzie mogą istnieć antycząsteczki, anty-DNA, a nawet antyludzie. W zetknięciu z materią antymateria ulega anihilacji, następuje erupcja energii w postaci promieniowania gamma i strumieni cząstek elementarnych.

25. "Science News", 13 stycznia 1996, s. 20.

Rozdział 14 DROGA DO GWIAZD

1. NASA planuje wysłanie dwu pojazdów kosmicznych co dwa lata w kierunku Marsa. Z wysłaniem statku w kierunku tej planety należy czekać, aż otworzy się "okno", tzn. odległość między Marsem a Ziemią będzie najmniejsza, co zdarza się właśnie raz na dwa lata.

2. Od tego czasu pojawiły się już wyniki kilku niezależnych badań, zarówno potwierdzające, jak i krytykujące pierwotne wnioski. Spór ten będzie trwał latami, dopóki nie zostanie rozstrzygnięte, czy struktury te zawierają ścianki komórkowe, albo zanim prawdziwe próbki skalne z Marsa zostaną dostarczone na Ziemię.

3. "Space News", 2-8 września 1996, s. 3.

4. Carl Sagan: Poszukiwanie życia pozaziemskiego, "Świat Nauki", grudzień 1994, s. 75.

5. "Time", 19 sierpnia 1996, s. 62.

6. Niestety. Mars jest małą planetą i jego słabe pole grawitacyjne nie jest w stanie powstrzymać atmosfery od ucieczki w przestrzeń kosmiczną. Przy obniżającym się niegdyś ciśnieniu gazów atmosferycznych woda nie mogła dłużej pozostać w fazie ciekłej. Kiedy atmosfera zaczęła uciekać w przestrzeń, jeziora i morza wyparowały lub wsiąkły w grunt, tworząc wieczne zmarzliny. Część wody ostała się jako czapy lodowe okolic podbiegunowych. Jakikolwiek formy życia, które mogło powstać tam 3 miliardy lat temu, spotkał ten sam los co i wodę: albo wyleciały w przestrzeń kosmiczną, albo zamarły w wiecznych lodach pod powierzchnią Marsa, albo zostały zamrożone w lodowych pokrywach biegunów.

7. "N.Y. Daily News". 10 kwietnia 1997, s. 5.

8. "Newsweek", 11 kwietnia 1994, s. 30.

9. *Ibidem*.

10. "New York Times", 29 czerwca 1995, s. A7; "Washington Post", 24 czerwca 1995, s. A8.

11. "Discover", lipiec 1994, s. 74.

12. "New York Times", 27 stycznia 1997, s. B9.

13. *Ibidem*.

14. "Time", 15 lipca 1996, s. 58.

15. John Lewis, wywiad z autorem, 11 grudnia 1996.

16. "Time", 15 lipca 1996, s. 58.

17. "Space News", 15-21 lipca 1996, s. 4.

18. *Ibidem*

19. Rakiety o napędzie jądrowym, mimo że ich impuls właściwy sięga 1000-2000 sekund, należą do najbardziej niestabilnych i niebezpiecznych rozwiązań. Rząd USA popierał i finansował badania nad nimi przez kilkadziesiąt lat, często w zupełnej tajemnicy. Reaktor atomowy, którego energia służyłaby podgrzaniu gazów wyrzucanych z dyszy silnika odrzutowego, generowałby olbrzymią moc, ale także powodowałby ogromne skażenie środowiska. Mógłby również eksplodować w katastrofie podobnej do tej, jaka spotkała *Challenger*. Opadające po takim wypadku szczątki rakiety o napędzie atomowym unicestwiłyby wszelkie życie na wielkich obszarach.

Nad ostatnią z rakiet o napędzie jądrowym, *Timberwind*, Amerykanie pracowali w zupełnej tajemnicy w ramach programu Wojen Gwiezdnych do czasu, kiedy informacja o tym ujrziała światło dzienne za sprawą Federacji Naukowców Amerykańskich. W tej nieprzyjemnej sytuacji prezydent Clinton podjął decyzję o zaprzestaniu tego rodzaju badań.

20. Działo wystrzeliwujące raketę z szyn wynosi ładunki na orbitę, rozpychając je do prędkości tysięcy kilometrów na godzinę dzięki zjawisku indukcji elektromagnetycznej.

Urządzenie to przywodzi na myśl powieść Juliusza Verne'a *Dookoła Księżycy*. Jednakże pomysł Verne'a z

gigantyczną armatą wyrzeliwującą raketę pozostaje w sprzeczności z kilkoma prawami fizyki.

Po pierwsze, prędkość osiągalna dzięki eksplozji spowodowanej reakcją chemiczną nie może wynosić 40 tysięcy kilometrów na godzinę, co jest

wartością prędkości ucieczki z pola grawitacyjnego Ziemi. Fala uderzeniowa wytwarzana przez wybuch substancji chemicznych ma prędkość równą z grubsza prędkości dźwięku (około 1100 km/h), a to jest wartość dalece niewystarczająca, by opuścić pole ciężenia ziemskiego.

Po drugie, przeciążenie wywołane wskutek niemal momentalnego przyspieszenia podczas wystrzału spowodowałoby zmiżdżenie pasażerów.

21. Freeman J. Dyson: *Statki kosmiczne XXI wieku*, "Świat Nauki", listopad 1995, s. 84.

22. Impuls właściwy (lub impuls jednostkowy) jest iloczynem siły ciągu i czasu jej działania podzielonym przez ciężar paliwa. Jednostką tej wielkości jest zatem sekunda, ponieważ w wyrażeniu tym skracają się jednostki siły. Eugene Mallove, Gregory Matloff: *The Starlight Handbook*. JohnWiley, Nowy Jork 1989, s. 44.

23. Freeman J. Dyson: *Statki kosmiczne XXI wieku*, "Świat Nauki", listopad 1995, s. 85.

24. Niedawno inna grupa badawcza zakwestionowała istnienie jednej z takich planet, towarzyszącej odległej gwiazdzie. Chociaż nie wiadomo, ile dotychczas odkrytych planet przetrwa falę podobnej krytyki, i tak zostaną wkrótce odkryte tysiące nowych planet.

25. "New York Times", 12 czerwca 1996, s. A24.

26. "Washington Post", 12 czerwca 1996, s. A3.

27. "Discover", listopad 1995, s. 83.

28. Wywiad z Johnem Lewisem.

29. Dokładniej, w lokalnym (zwanym inercjalnym) układzie odniesienia żaden sygnał nie może być przesłany z prędkością większą niż prędkość światła. Znamy kilka zjawisk, w których prędkość światła zostaje przekroczona, ale albo nie można ich wykorzystać do przesyłania informacji, albo są one związane z globalnymi własnościami czasoprzestrzeni opisywanymi ogólną teorią względności Einsteina. Na przykład, w eksperymencie Einsteina-Podolskiego-Rosena prędkość fazowa fali oraz szybkość samego pomiaru mogą przekraczać wartość prędkości światła, ale nie można wykorzystać tego zjawiska do przesłania sygnałów. Podobnie, podczas Wielkiego Wybuchu Wszechświat rozszerzał się z prędkością większą niż prędkość światła, ale ogólna teoria względności nie przeczy temu w globalnym, nie lokalnym, układzie odniesienia. Zgodnie z tym, również istnienie tuneli czasoprzestrzennych może naruszać zasady szczególnej teorii względności, jako że tunele są związane z globalnymi, a nie lokalnymi własnościami geometrycznymi przestrzeni. Chociaż tunele czasoprzestrzenne mogą istnieć, to obecnie ich praktyczna realizacja jest niemożliwa: energia potrzebna do otwarcia wejścia do tunelu przekracza całkowitą produkcję energii na Ziemi.

30. Obserwatorzy na Ziemi widzieliby takie statki kosmiczne podążające do gwiazd jako "zatrzymane w czasie", ze względu na skrócenie czasu przewidziane przez szczególną teorię względności.

31. Mallove, Matloff: *The Starlight Handbook*. John Wiley, Nowy Jork 1989, s. 112.

32. Wywiad z Theodore Taylorem.

33. Wiązka światła laserowego nie rozbiega się tak szybko jak światło słoneczne, którego intensywność (i energia) maleje jak odwrotność kwadratu odległości od źródła. Ale i światło laserowe ulega dysypacji. Typowa wiązka światła lasera, zanim dotrze do powierzchni Księżyca, ma już średnicę około 8 kilometrów.

34. "Discover", sierpień 1994, s. 39.

35. *Ibidem*.

36. Nasze Słońce - spalająca wodór, typowa, żółta gwiazda ciągu głównego - za mniej więcej 5 miliardów lat stanie się czerwonym olbrzymem. Atmosfera takiego czerwonego olbrzyma będzie rozciągała się aż do orbity Marsa, tak więc Ziemia wchłonięta w tę gorącą atmosferę prawdopodobnie wyparuje.

37. Wywiad z Johnem Lewisem i Nealem Tysonem. John S. Lewis: *Mining the Sky*. Addison-Wesley, Reading, Mass. 1996, s. 83.

38. *Ibidem*,

39. "Time", 3 czerwca 1996, s. 61.

40. "New York Times Magazine", 28 lipca 1996, s. 17.

41. *Ibidem*, s. 114-115.

42. Niektórzy doradzają użycie bomb wodorowych w celu zniszczenia nadlatujących z przestrzeni kosmicznej obiektów grożących zderzeniem z Ziemią. Nie jest to dobry pomysł. Fragmenty rozerwanego na kawałki NEO mogłyby stanowić dla Ziemi jeszcze większe zagrożenie niż sam obiekt. Zakładając, że odpowiednio wcześniej dowiemy się o zbliżającej się katastrofie, prawdopodobnie lepiej jest próbować zapobiec jej wtedy, gdy obiekt znajduje się jeszcze wystarczająco daleko. Można tego dokonać, zmieniając nieznacznie parametry trajektorii takiej planetoidy lub komety.

43. Wywiad z Paulem Shuchem, dyrektorem wykonawczym SETI League.

44. W 1978 roku jeden z astronomów, Paul Horowitz, przeprowadził obserwacje wszystkich gwiazd podobnych do Słońca znajdujących się w promieniu 80 lat świetlnych od Ziemi. Jest 185 takich gwiazd. W 1979 roku przebadano 600 gwiazd. W żadnym przypadku nie udało się znaleźć śladów istnienia jakichkolwiek form inteligentnego życia.

Rozdział 15

W STRONĘ CYWILIZACJI PLANETARNEJ

1. Wartość tego oszacowania może ulegać zmianom, gdyż nie jest znana dokładna wartość stałej Hubble'a, informującej o tym, jak szybko Wszechświat się rozszerza. Pochodzące z 1997 roku nowe oszacowanie tej stałej, otrzymane dzięki pomiarom dokonany przez wysłanego przez kraje europejskie satelitę, prowadzi do wniosku, że Wszechświat może być znacznie młodszy, a jego wiek wynosi 10-12 miliardów lat.

2. Nikolai Kardashey. Transmission of Information by Extraterrestrial Civilizations, "Soviet Astronomy AJ", 8 (1964), s. 217-221.

3. Freeman Dyson: *Disturbing the Universe*. Harper & Row, Nowy Jork 1979, s. 212.

4. Z teorii chaosu wiadomo, że pogody nie da się przewidzieć nawet przy użyciu największych superkomputerów. Wszystko, co cywilizacja pierwszego typu może osiągnąć, to modyfikacja zjawisk pogodowych.

5. Istnieje również możliwość, że cywilizacja typu I zdecyduje się zmienić swój wzorzec genetyczny.

6. Mogłoby się okazać, na przykład, że do komunikowania się wykorzystuje ona sieci światłowodów i kabli, a nie przekaz satelitarny.

7. Według drugiego prawa termodynamiki, jakiejkolwiek urządzenie, w którym istnieje różnica temperatur, jest źródłem odpadowego ciepła. Cywilizacja drugiego typu, nawet jeśliby opiecztowała swoje słońce sferą Dysona, i tak musiałaby ujawnić własną obecność, gdyż w końcu sfera ta rozgrzałaby się i zaczęła wypromieniowywać nadmiar ciepła.

8. UN Web Page. "Science News", 4 listopada 1995, s. 293.

9. Fakt, że obecne stężenie dwutlenku węgla w atmosferze jest najwyższe od 150 tysięcy lat, został stwierdzony na podstawie badań próbek lodu pobranych z głębokich warstw lodowców polarnych. Wykresy ilustrujące zmiany stężenia CO₂ w ziemskiej atmosferze wykazują oczywistą korelację ze schematami przedstawiającymi zmiany temperatur na Ziemi. Za globalnym ociepleniem kryje się 6 miliardów ton węgla wprowadzanego do atmosfery każdego roku w wyniku spalania paliw kopalnych. (Rewolucja przemysłowa przyczyniła się do wyemitowania do atmosfery 170 miliardów ton węgla).

10. Na samą malarię choruje 300 do 500 milionów osób, czyli niemal 10% ludzkości. Wzrost temperatury na Ziemi o 3-5°C spowodowałby rozprzestrzenienie się malarii na obszar zajmujący 60% powierzchni Ziemi. Pod wpływem globalnego ocieplenia, poprzez rozszerzanie się strefy wegetacji alg i bakterii (mikrobów skażających ujęcia wody), zwiększyłby się również zasięg innych strasznych chorób, na przykład cholery.

11. Wywiad z Lesterem Brownem z World Watch Institute.

12. Wywiad z Michaeliem Oppenheimerem z Environmental Defense Fund.

13. Wywiad z Lesterem Brownem.

14. Robert W. Kates: Szansa na utrzymanie życia na Ziemi, "Świat Nauki", grudzień 1994, s. 99.

15. "New York Times", 17 listopada 1996, s. 3.

16. World Watch Institute: *State of the World*, 1996. Waszyngton 1996, s. 12.

17. Robert W. Kates: Szansa na utrzymanie życia na Ziemi, "Świat Nauki", grudzień 1994, s. 102.

18. Alvin Toffler: *The Third Wave*. Bantam Books, Nowy Jork 1980, s. 80.

19. *Ibidem*.
20. Kenichi Ohmae: *The End of the Nation State*. Simon & Schuster, Nowy Jork 1995, s. 5.
19. PRZYPISY • 547
21. *Ibidem*, s. 142.
22. Toffler: *The Third Wave*, s. 230.
23. *Ibidem*, s. 237.
24. Ohmae: *The End of the Nation State*, s. 44.
25. *Ibidem*, s. 45.
26. "Science News", 25 lutego 1995, s. 117.
27. "New York Times Magazine", 29 września 1996, s. 61.
28. *The Computer in the 21 st Century*. Scientific American Books, Nowy Jork 1995, s. 4.
29. Bill Gates: *The Road Ahead*. Viking, Nowy Jork 1995, s. 263.

Rozdział 16

MISTRZOWIE CZASU I PRZESTRZENI

1. Temperatura jądra Słońca nie jest wystarczająco wysoka, by powstały pierwiastki, które występują w naszym ciele. Nawet w środku czerwonego olbrzyma temperatury nie są dostatecznie wysokie, aby powstały pierwiastki cięższe niż żelazo. Do powstania cięższych pierwiastków wchodzących w skład naszego organizmu potrzebne są temperatury bilionów stopni. Temperatury tego rzędu występują tylko podczas wybuchu supernowej. Zatem nasze Słońce jest w rzeczywistości gwiazdą powstałą z odpadów. Słońce oraz planety Układu Słonecznego narodziły się z popiołów, które pozostały po wybuchu gwiazdy supernowej.

2. Zgodnie ze szczególną teorią względności żaden obiekt nie może poruszać się szybciej niż światło. Ale teoria ta jest specjalnym przypadkiem ogólnej teorii względności. Według ogólnej teorii względności można przejść przez tunel czasoprzestrzenny i znaleźć się "po drugiej stronie Wszechświata". W efekcie odbywamy w ten sposób podróż z prędkością większą niż światło. Jedynym ograniczeniem wynikającym ze szczególnej teorii względności jest to, że zbliżając się do wejścia do tunelu czasoprzestrzennego, nie możemy poruszać się z prędkością większą niż prędkość światła.

3. Wpadnięciu do czarnej dziury Kerra towarzyszy problem stabilności. Istnieje możliwość, że obiekt poruszający się w metryce Kerra spowoduje zamknięcie się dziury.

4. Antymateria, której cząstki elementarne mają jedynie przeciwny (w stosunku do cząstek materii) znak ładunku elektrycznego, w polu grawitacyjnym również spada w dół, a nie do góry.

5. Steven Weinberg: *Sen o teorii ostatecznej*. Wydawnictwo ALKAZAR, Warszawa 1994, s. 231.

6. Wywiad z Murrayem Gell-Mannem. Zobacz również John Brockman: *The Third Culture*. Simon & Schuster, Nowy Jork 1995, s. 256.

7. Niektórzy dziennikarze usiłowali niedawno podważyć teorię Wielkiego Wybuchu, posługując się argumentem "grudkowatości" Wszechświata, co świadczy jedynie o ich niezrozumieniu fizyki. Dane otrzymane dzięki pomiarom przeprowadzonym przez aparaturę satelity *COBE* wskazują, że Wielki Wybuch był eksplozją przebiegającą zadziwiająco równomiernie.

1. Jednakże dzisiejszy Wszechświat, z jego galaktykami pogrupowanymi w supergromady i olbrzymimi pustkami pozostawionymi w przestworzach, wydaje się strukturą dość nieregularną. Przypuszcza się, że grudkowa-tość (a właśnie ta własność jest powodem krytyki teorii Wielkiego Wybuchu) Wszechświata zaczęła objawiać się około miliarda lat po Wielkim Wybuchu, co w tych skalach czasu jest bardzo krótkim okresem. Dokładna analiza danych zebranych przez *COBE* wskazuje na istnienie niewielkich fluktuacji, zgodnych z obrazem fluktuacji kwantowych, w początkowych stadiach Wielkiego Wybuchu. Istnienie tych fluktuacji jest wystarczającym powodem do wyjaśnienia obecnej niejednorodności Wszechświata. Inaczej mówiąc, obserwowany rozkład galaktyk, włącznie z naszą Drogą Mleczną, jest prawdopodobnie prostą konsekwencją opisywanych teorią kwantową zjawisk towarzyszących Wielkiemu Wybuchowi.

8. Kiedy stwierdzamy, że energia grawitacyjna Ziemi krążącej wokół Słońca jest ujemna, przyjmujemy, że energia zerowa odpowiada punktom bardzo odległym od Słońca (leżącym w nieskończoności). Chcąc odsunąć Ziemię od

Słońca, musielibyśmy dodać pewien zasób energii do układu Ziemia-Słońce, a stąd wynika, że grawitacyjna energia Ziemi ma wartość ujemną.

Dokładniej, całkowita energia płaskiego Wszechświata jest równa zero, natomiast energia Wszechświata otwartego jest nieskończona. Ponieważ energia jest tylko jedną ze składowych tensora drugiego rzędu (tensora energii-pędu), sama energia nie może być niezmiennikiem, lecz zależy od wyboru lokalnego układu odniesienia, w którym jest mierzona.

Nie potrzeba zatem żadnej energii, żeby stworzyć zamknięty Wszechświat z Niczego.

Autorem idei Wszechświata pojawiającego się jako efekt fluktuacji kwantowej jest Edward Tryon z Hunter College.

LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA

Rewolucja komputerowa

- W. F. Allman: *Apprentices of Wonder: Inside the Neural Network Revolution*. Bantam Books, Nowy Jork 1989.
- I. Asimov: *Robot Dreams*. Ace Books, Nowy Jork 1986.
- M. Caudill: *In Our Own Image: Building an Artificial Person*. Oxford University Press, Oksford 1992.
- P. Coveney, R. Highfield: *Frontiers of Complexity: The Search for Order in a Chaotic World*. Ballantine Books, Nowy Jork 1995. Wyd. pol.: *Granice złożoności Poszukiwania porządku w chaotycznym świecie*. Prószyński i S-ka, Warszawa 1997.
- D. Crevier: *AI: The Tumultuous History of the Search for Artificial Intelligence*. Basic Books, Nowy Jork 1993.
- M. Dertouzos: *What Will Be: How the New World of Information Will Change Our Lives*. HarperCollins, San Francisco 1997.
- D. H. Freedman: *Brainmakers: How Scientists Are Moving Beyond Computers to Create a Rival to the Human Brain*. Simon & Schuster, Nowy Jork 1994.
- B. Gates: *The Road Ahead*. Viking, Nowy Jork 1995. Wyd. pol.: *Droga ku przyszłości* Studio EMKA, Warszawa 1996.
- D. Gelertner: *Mirror Worlds*. Oxford University Press, Oksford 1991.
- S. Gibilisco (red.): *The McGraw-Hill Illustrated Encyclopedia of Robotics and Artificial Intelligence*. McGraw-Hill, Nowy Jork 1994.
- K. Hafner, M. Lyon: *Where Wizards Stay Up Late: The Origins of the Internet*. Simon & Schuster, Nowy Jork 1996.
- D. Halberstam: *The Next Century*. William Morrow, Nowy Jork 1991.
- G. Harrar: *Radical Robots*. Simon & Schuster, Nowy Jork 1990.
- J. Horgan: *The End of Science*. Addison-Wesley, Reading 1996. Wyd. pol.: *Koniec nauki* Prószyński i S-ka, Warszawa 1999.
- 550 • WIZJE
- R. C. Johnson, C. Brown: *Cognizers: Neural Networks and Machines That Think*. John Wiley, Nowy Jork 1988. M. Kaku, D. Axelrod: *To Win a Nuclear War*. South End Press, Boston 1987. W. J. Kauffman, L. L. Smarr: *Supercomputing and the Transformation of Science*. Scientific American Books, Nowy Jork 1993. K. Kevin: *Out of Control: The New Biology of Machines, Social Systems, and the Economic World*. Addison-Wesley, Reading 1994. I. Lebow: *The Digital Connection: A Layman's Guide to the Information Age*. W. H. Freeman, Nowy Jork 1991. S. Lubar: *Info Culture: The Smithsonian Book of Information Age Inventions*. Houghton Mifflin, Boston 1993. M. Minsky: *The Society of Mind*. Simon & Schuster, Nowy Jork 1985. H. Moravec: *Mind Children*. Harvard University Press, Cambridge 1988. N. Negroponte: *Being Digital*. Alfred A. Knopf, Nowy Jork 1995. H. R. Pagels: *The Dreams of Reason: The Computer and the Rise of the Sciences of Complexity*. Bantam Books, Nowy Jork 1988. J. Relchardt: *Robots: Fact, Fiction, and Prediction*. Penguin Books, Nowy Jork 1978. Scientific American: *The Computer in the 21st Century*. Scientific American Books, Nowy Jork 1995. D. Shasha, C. Lazere: *Out of Their Minds: The Lives and Discoveries of 15 Great Computer Scientists*. Springer-Verlag, Nowy Jork 1995. G. Simons: *Robots: The Quest for Living Machines*. Cassell, Londyn 1992. C. Stoli: *Silicon Snake Oil: Second Thoughts on the Information Highway*. Doubleday, Nowy Jork 1995. Lester C. Thurow: *The Future of Capitalism: How Today's Economic Forces Shape Tomorrow's World*. William Morrow, Nowy Jork 1996.

Rewolucja biomolekularna

- C. Bezdol, J. A. Halperin, J. L. Eng (red.): *2020 Visions: Health Care Information Standards and Technologies*. U.S. Pharmacopeial Convention Press, Rockville 1993.
- L. L. Cavalli-Sforza, F. Cavalli-Sforza: *The Great Human Diasporas: The History of Diversity and Evolution*. Addison-Wesley, Reading 1995.
- R. Cook-Deegan: *The Gene Wars: Science, Politics, and the Human Genome*. W. W. Norton, Nowy Jork 1994.
- C. F. Cranor: *Are Genes Us? The Social Consequences of the New Genetics*. Rutgers University Press, New Brunswick 1994.
- B. Dixon: *Power Unseen: How Microbes Rule the World*. W. H. Freeman, Nowy Jork 1994.
- K. A. Drlica: *Double-Edged Sword: The Promises and Risks of the Genetic Revolution*. Addison-Wesley, Reading 1994.
- LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA • 551
- K. A. Drlica: *Understanding DNA and Gene Cloning: A Guide for the Curious*. John Wiley, Nowy Jork 1992. A. G. Fettner: *The Science of Viruses: What They Are, Why They Make Us Sick, and How They Will Change the Future*. William Morrow, Nowy Jork 1990. M. D. Frank-Kamenetskii: *Unraveling DNA*. VCH Publishers, Nowy Jork 1993. L. Garrett: *The Corning Plague: Newly Emerging Diseases in a World Out of Balance*. Penguin Books, Nowy Jork 1994. D. S. Goodsell: *Out Molecular Nature: The Body's Motors, Machines, and Messages*. Springer-Verlag, Nowy Jork 1996. S. J. Gould: *Ontogeny and Phylogeny*. Harvard University Press, Cambridge 1977. S. J. Gould: *The Mismeasure of Man*. W. W. Norton, Nowy Jork 1996. L. Hayflick: *How and Why We Age*. Ballantine Books, Nowy Jork 1994. S. Jones: *The Language of Genes: Solving the Mysteries of Our Genetic Past, Present, and Future*. Anchor Books, Nowy Jork 1993. Wyd. pol.: *Język genów. Biologia, historia i przyszłość ewolucji* Książka 1 Wiedza, Warszawa 1998. S. Jones, R. Martin, D. Pilbeam, S. Bunney (red.): *The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution*. Cambridge University Press, Cambridge 1992. Sir J. Kendrew (red.): *The Encyclopedia of Molecular Biology*. Blackwell Science, Cambridge 1994. D. J. Kevles: *In the Name of Eugenics: Genetics and the Uses of Human Heredity*. Harvard University Press, Cambridge 1995. D. J. Kevles, L. Hood (red.): *The Code of Codes*. Harvard University Press, Cambridge 1992. A. Klmbrell: *The Human Body Shop: The Engineering and Marketing of Life*. HarperCollins, San Francisco 1993. P. Kitcher: *The Lives to Come: The Genetic Revolution and Human Possibilities*. Simon & Schuster, Nowy Jork 1996. L. J. Kleinsmith, V. M. Kish: *Principles of Cell and Molecular Biology*. HarperCollins, Nowy Jork 1995. T. F. Lee: *Gene Future: The Promise and Perils of the New Biology*. Plenum Press, Nowy Jork 1993. T. F. Lee: *The Human Genome Project: Cracking the Code of Life*. Plenum Press, Nowy Jork 1991. A. J. Levin: *Virus*. Scientific American Books, Nowy Jork 1992. J. Lyon, P. Gorner: *Altered Fates: Gene Therapy and the Retooling of Human Life*. W. W. Norton, Nowy Jork 1995. R. A. Meyers: *Molecular Biology and Biotechnology: A Comprehensive Desk Reference*. VCH Publishers, Nowy Jork 1995. T. J. Moore: *Lifespan: New Perspectives on Extending Human Longevity*. Simon & Schuster, Nowy Jork 1993. S. S. Morse (red.): *Emerging Viruses*. Oxford University Press, Oksford 1997.
- M. P. Murphy, L. A. J. O'Neill: *What Is Life? The Next Fifty Years*. Cambridge University Press, Cambridge 1995.
- J. V. Neel: *Physician to the Gene Pool: Genetic Lessons and Other Stories*. John Wiley, Nowy Jork 1994.
- R. M. Nesse, G. C. Williams: *Why We Get Sick: The New Science of Darwinian Medicine*. Random House, Nowy Jork 1994.
- D. S. Nicholl: *An Introduction to Genetic Engineering*. Cambridge University Press, Cambridge 1994.
- R. W. Old, S. B. Primrose: *Principles of Gene Manipulation: An Introduction to Genetic Engineering*. Blackwell Science, Cambridge 1994.

- C. Pillar, K. R. Yamamoto: *Gene Wars*. William Morrow, Nowy Jork 1988.
- R. A. Raff: *The Shape of Life: Genes, Deuelopment, and the Evolution of Ani-mal Form*. University of Chicago Press, Chicago 1996.
- E. Russo, D. Cove: *Genetic Engineering: Dreams and Nightmares*. W. H. Freeman, Nowy Jork 1995.
- C. Sagan: *The Dragons of Eden: Speculations on the Evolution of Human Intelligence*. Ballantine Books, Nowy Jork 1977. Wyd. pol.: *Rajskie smo ki Zysk i S-ka*, Poznań 1998.
- A. A. Salyers, D. D. Whitt: *BacterialPathogenesis*. ASM Press, Waszyngton 1994.
- R. G. Steen: *DNA and Destiny: Nature and Nurture in Human Behavior*. Plenum Press, Nowy Jork 1996.
- D. Suzuki, P. Knudtson: *Genetics: The Clash Between the New Genetics and Human Values*. Harvard University Press, Cambridge 1990.
- H. Varmus, R. A. Weinberg: *Genes and the Biology of Cancer*. Scientific American Books, Nowy Jork 1993.
- R. A. Weinberg: *Racing to the Beginning of the Road: The Search for the Origin of Cancer*. Random House, Nowy Jork 1996.
- C. Wills: *Exons, Introns, and Talking Genes: The Science Behind the Human Genome Project*. Basic Books, Nowy Jork 1991.
- L. Wingerson: *Mapping Our Genes: The Genome Project and the Future of Medicine*. Penguin Books, Nowy Jork 1990.

Rewolucja kwantowa

- J. Brockman (red.): *The Third Culture: Beyond the Scientiflc Renolutton*. Simon & Schuster, Nowy Jork 1995. Wyd. pol.: *Trzecia kultura CIS*, Warszawa 1998.
- L. R. Brown: *State of the World*. W. W. Norton, Nowy Jork 1996.
- R. Crease, C. Mann: *The Second Creation*. Macmillan, Nowy Jork 1986.
- P. Davies: *Superjorce: The Searchjor a Grand Unified Theory oJNature*. Simon & Schuster, Nowy Jork 1984.
- F. Dyson: *Injtnite in AU Directions*. Harper & Row, Nowy Jork 1988.
- LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA • 553
- F. Dyson: *Disturbing the Universe*. Harper & Row, Nowy Jork 1979.
- J. Gribbin: *In Search of Schrödinger's Cat*. Bantam Books, Nowy Jork 1984. Wyd. pol.: *W poszukiwaniu kota Schrodingera*. Zysk i S-ka, Poznań 1997.
- M. Kaku: *Introduction to Superstrings*. Springer-Verlag, Nowy Jork 1988.
- J. S. Lewis: *Mining the Sky: Untold Richesfrom the Asteroids, Comets, and Planets*. Addlson-Wesley, Reading 1996.
- J. S. Lewis: *Rain of Iron and Ice*. Addlson-Wesley, Reading 1996.
- E. Mallove, G. Matloff: *The Starflight Handbook: A Pioneer's Guide to In-terstellar Travel* John Wiley, Nowy Jork 1989.
- H. McRae: *The World in 2020: Power, Culture, and Prosperity*. Harvard Business School Press, Cambridge 1994.
- W. Moore: *Schrödinger: Life and Thought*. Cambridge University Press, Cambridge 1989.
- K. Ohmae: *The End of the Nation State: The Rise of Regional Economies*. Simon & Schuster, Nowy Jork 1995.
- H. R. Pagels: *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time*. Bantam Books, Nowy Jork 1986.
- H. R. Pagels: *The Cosmic Code: Quantum Physics as the Language of Nature*. Bantam Books, Nowy Jork 1983.
- A. Pais: *Inward Bound: Of Mauer and Forces in the Physical World* Oxford University Press, Oksford 1986.
- A. Pais: *Subtle Is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein*. Oxford University Press, Oksford 1982.
- J. L. Petersen: *The Road to 2015: Profiles ofthe Future*. Waite Group Press, Corte Madera (Kalifornia) 1994.
- E. Regis: *Nano: The Emerging Science of Nanotechnology*. Little, Brown, Boston 1995.
- C. Sheffield, M. Alonso, M. A. Kaplan: *The World of 2044: Technological Development and the Future of Society*. Paragon House, St. Paul 1994.
- A. Toffler: *The Third Wave: The Classic Study of Tomorrow*. Bantam Books, Nowy Jork 1980.

O AUTORZE

Michio Kaku jest fizykiem o uznanej, międzynarodowej pozycji, jednym z teoretyków, którzy położyli podwaliny pod teorię super-strun. W 1968 roku z wyróżnieniem ukończył Uniwersytet Harvarda, a w 1972 roku obronił doktorat na Uniwersytecie Kalifornijskim w Berkeley. Od ponad 20 lat jest profesorem w City College w Nowym Jorku.

Michio Kaku opublikował ponad 70 prac naukowych. Jest również autorem lub współautorem 8 książek, w tym *Quantum Field Theory: A Modern Introduction [Kwantowa teoria pola]*, *Beyond Einstein [Dalej niż Einstein; razem z Jennifer Trainer--Thompson]*, *Introduction to Superstrings [Wprowadzenie do teorii superstrun]*, a napisana przez niego *Hiperprzestrzeń* stała się międzynarodowym bestsellerem - również w Polsce! Prowadzi także cotygodniowe audycje radiowe popularyzujące naukę. Jest wielkim zwolennikiem rozbrojenia.