



James
Trefil

1001

POTKAŃ

Z

NAUKĄ

$$E=mc^2$$

O autorze

James Trefil, profesor fizyki w George Mason University, jest autorem przeszło stu artykułów naukowych, trzech podręczników i dwunastu książek o nauce. Był stypendystą fundacji Guggenheima i komentatorem National Public Radio. Jest członkiem Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego. Zasiada także w Komitecie Norm i Podstawowych Stałych Fizycznych w Krajowej Radzie Badań Naukowych. Za mistrzostwo w pisarstwie popularyzującym naukę James Trefil otrzymał Nagrodę Westinghouse'a, przyznaną przez Amerykańskie Stowarzyszenie Popierania Postępu Nauk, a jako wykładowca został wyróżniony Nagrodą za Nowatorstwo, przyznaną przez Narodowy Uniwersytet Kształcenia Ustawicznego. Kilka innych książek Jamesa Trefila to: *The Moment of Creation*, *A Scientist at the Seashore*, *Meditation at 10 000 Feet*, *The Dark Side of the Universe*, *Reading the Mind of God*. Jest również współautorem *The Dictionary of Cultural Literacy* oraz *Science Matters: Achieving Scientific Literacy*.

Wstęp

Nauka pozwala zrozumieć, jak zbudowany jest i jak działa niezmierny, niezrównany w swoim pięknie Wszechświat – od wybuchów odległych gwiazd do najmniejszej komórki w organizmie. Zgromadzenie tej wiedzy jest z pewnością największym ze wszystkich osiągnięć ludzkiego rozumu.

Nauka obejmuje mnóstwo różnych specjalności, można też rozmaicie ją prezentować – placek daje się wszak kroić na wiele sposobów. Można na przykład skoncentrować się na ogólnych zasadach, które leżą u podstaw nauki. Można również zająć się bardzo szczegółowo pewnymi dziedzinami wiedzy, jak astronomia, biologia molekularna, geofizyka, a pominąć ich związki z resztą świata, lub można, tak jak ja to zrobiłem, podzielić całą naukę na drobne elementy, z których każdy spełnia określone zadanie.

W książce podejmuję próbę opisanego, jak funkcjonuje świat. Informacje umieściłem w kolejno ponumerowanych notkach. Czasem zawierają one tylko jedno lakoniczne zdanie, lecz w większości składają się co najmniej z dwóch akapitów. Poszczególne części książki poświęcone są biologii klasycznej, ewolucji, biologii molekularnej, fizyce klasycznej, fizyce współczesnej, nauce o Ziemi i astronomii. W każdej części zachowany jest logiczny porządek, począwszy od pierwszej notki do ostatniej, lecz można je czytać w dowolnie wybranej kolejności.

Krótko mówiąc, książka jest przeznaczona do wertowania. Można otworzyć ją na przypadkowej stronie, przeczytać trochę, powiedzieć: „O! tego nie wiedziałem” lub „Ciekawe”, a potem odłożyć do następnego razu. To nie podręcznik i nie należy go czytać od początku do końca. Jeśli coś zwraca uwagę, trzeba czytać dalej, jeśli nie – zajrzeć w inne miejsce.

Ten niekonwencjonalny sposób przekazania wiedzy rodzi sporo wątpliwości. Miał je autor i ty, czytelniku, także będziesz je miał. Nie każdy fakt jest jednakowo ważny. Pierwsza zasada termodynamiki (notka 535) stoi z pewnością wyżej na drabinie wiedzy niż fakt, że rekin ma szkielec chrząstny (notka 25). Naprawdę każdy powinien znać pierwszą zasadę termodynamiki, inaczej nie zrozumie świata, natomiast anatomia rekina jest po prostu jednym z wielu przykładów ilustrujących złożoność i różnorodność świata istot żywych.

Ważna w tej książce jest również kwestia granic: gdzie je zakreślić? Świat jest niezmiernie bogaty i próba opisanie go w niewielkiej liczbie notek nie jest łatwa. Nie bez żalu ograniczyłem się tylko do tradycyjnych nauk przyrodniczych, zamierzając medycynę i technikę umieścić w następnych publikacjach.

W końcu można zapytać, dlaczego zdecydowałem się na 1001 notek. Cóż, a dlaczego nie? To taka sama dobra liczba jak każda inna. Poza tym są w literaturze świetne precedensy. Nie pochlebiam sobie, że któraś z moich notek ma piękno i siłę opowieści Szeherazady, lecz razem wzięte uzupełnią twój obraz świata i dostarczą, mam nadzieję, odrobiny wiedzy, o której wcale nie sądziłeś, że jest ci potrzebna.

James Trefil

Fairfax, Virginia

1

Biologia klasyczna

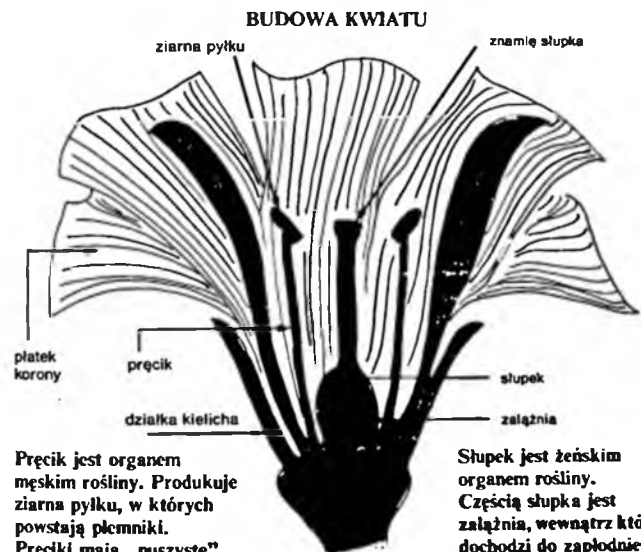
Rozmnażanie się roślin

1 Rośliny mogą rozmnażać się płciowo lub bezpłciowo. Kiedy perz na twoim trawniku wypuszcza kłęczka, które następnie się ukorzeniają, to rozmnaża się on bezpłciowo. Jest to dodatkowy sposób rozmnażania oprócz (a czasami zamiast) rozmnażania płciowego za pomocą nasion (patrz niżej). Wyrastanie nowych roślin z bulw i rozlogów to inne przykłady bezpłciowego rozmna-

żania się. Praktyka szczepienia roślin – zespolenie pędu jednej rośliny (zrazu) z pędem lub pniem drugiej (podkładką) – jest przykładem sztucznego wywołania rozmnażania bezpłciowego.

Najprostsza forma rozmnażania bezpłciowego występuje u takich roślin jednokomórkowych jak glony, które rozmnażają się przez zwykły podział komórki.

Roślina, która powstała w wy-



Pręcik jest organem męskim rośliny. Produkuje ziarna pyłku, w których powstają plemniki. Pręciki mają „puszyste” główki na długich nitkach i tworzą okółek dookoła słupka. Ten „puszysty” wygląd nadają główce ziarna pyłku.

Słupek jest żeńskim organem rośliny. Częścią słupka jest zalążnia, wewnątrz której dochodzi do zapłodnienia i rozpoczyna się rozwój nasienia.

niku rozmnażania się bezpłciowego, jest identyczna z macierzystą, czyli jest klonem. Rozmnażanie bezpłciowe przebiega szybciej niż płciowe, lecz tworzy populacje, w których zmiany zachodzą tylko w następstwie mutacji.

2 Przemiana pokoleń jest formą rozmnażania płciowego. Rośliny, takie jak paprocie i mchy, stosują technikę rozmnażania polegającą na następstwie pokoleń. W ich cyklu życiowym dwa pokolenia – płciowe (gametofit) i bezpłciowe (sporofit) – następują kolejno po sobie i mają zupełnie różny wygląd. Na przykład u paproci duży ulistniony sporofit wyrasta z zapłodnionej komórki jajowej przez zwykły podział komórek. Na dolnej powierzchni liścia sporofitu paproci rozwijają się zarodniki, które mieszczą się w zarodniach tworzących kupki. Każdy z zarodników ma połowę normalnego zestawu chromosomów. Po wysianiu się zarodników wyrastają z nich mikroskopijne gametofity, wytwarzające komórki jajowe i plemniki. Kiedy plemniki dojrzeją, przepływają w warstewce wody do komórek jajowych. Zapłodniona komórka jajowa, mająca teraz pełny zestaw chromosomów, rozwija się

w sporofit paproci i cykl się powtarza. U paproci jedno pokolenie – sporofit – jest duże i długowieczne, natomiast drugie – gametofit – jest niepozorne i żyje krótko. Oba pokolenia są roślinie niezbędne, ponieważ składają się na jej cykl życiowy.

3 Wszystkie pomarańcze „noweliny” pochodzą od jednego drzewa. W początkach XIX w. na plantacji w Brazylii pojawiło się drzewo-mutant. Rodziło pomarańcze bez pestek. Każda nowelina istniejąca dziś na świecie pochodzi ze zrazu pobranego od tego mutantu i zaszczerpionego na innym drzewie. Z niego z kolei pobrano zraz i zaszczerpiono na następnym drzewie itd.

4 Opanowanie lądu przez rośliny sprzyjało wykształceniu się nasion. U roślin nasennych jajo pozostaje wewnątrz organizmu macierzystego i tam jest zapłodniane przez plemnik. Może on pochodzić z tej samej rośliny lub innej. Rozwijający się zarodek pozostaje w roślinie macierzystej dopóty, dopóki nie rozwinię się w trwałe wielokomórkowe nasie-

nie, które jest następnie uwalniane i może z niego powstać nowa roślina. W tym procesie plemniki nie muszą być przenoszone przez wodę.

5 U roślin nasennych plemniki są przenoszone przez ziarna pyłku. Wewnątrz wszystkich ziaren pyłku, powodujących każdego lata kichanie, katar i łzawienie oczu, powstają plemniki. Znalazłszy się w pobliżu jaja odpowiedniej rośliny, dokonują jego zapłodnienia i tym samym zapoczątkowują rozwój nasienia. Aby zatem móc się rozmnożyć, roślina musiała wynaleźć jakiś sposób przedostania się pyłku do zalążni.

Najprostszym sposobem jest samozapylenie – ziarno pyłku przemieszcza się z pręcika na słupkę w obrębie jednego kwiatu. Podczas zapylenia krzyżowego pyłek jednej rośliny zapładnia jajo drugiej. Pyłek może być przeniesiony z jednej rośliny na drugą przez wiatr lub na przykład pszczoły czy kolibry. W wyniku zapylenia powstaje owoc.

6 Owoce każdej rośliny okrytozalążkowej rozwijają się z zalążni po zapłodnieniu. Owoce mogą być soczyste jak gruszka, chociaż nie zawsze są jadalne dla

człowieka. Biały puch mniszka lekarskiego i spadające z klonu małe skrzydłaki, podobne do helikoptera, to także owoce.

7 Czerwona część truskawki wcale nie jest owocem. Jest to zmodyfikowane dno kwiatowe. Owocami są małe żółte ziarenka przyklejone do jego powierzchni.

Rozwój roślin

8 Pierwszym etapem rozwoju rośliny z nasienia jest kiełkowanie. Nasienie, zanim wykiełkuje, pobiera wodę z otoczenia. Potem przez łupinę zaczyna przedostawać się korzeń, a następnie na powierzchnię ziemi wydostaje się pęd, który wypuszcza liście. Liść będzie gotowy do działania wtedy, gdy powstanie w nim chlorofil i rozpocznie się fotosynteza. Do tego czasu młoda roślina musi żyć kosztem energii zmagazynowanej w nasieniu.

Nasiona mogą długo pozostawać w stanie spoczynku. W stanie życia utajonego pozostają tak długo, aż nastaną warunki umoż-

liwiające kiełkowanie. Do kiełkowania niezbędne są przede wszystkim odpowiednio wysoka wilgotność i temperatura. Wzrost rośliny zaczyna się dopiero wtedy, gdy warunki są wystarczająco dobre. Na przykład na zachodzie Stanów Zjednoczonych nasiona traw nie kiełkują, dopóki nie zostanie osiągnięty pewien poziom opadów. Właściwość ta pozwala przeczekać roślinie lata katastrofalnie suche.

9 Chwasty często produkują nasiona zdolne do długotrwałego przebywania w stanie spoczynku. Nasiona niektórych chwastów pozostają w stanie spoczynku, póki nie zostaną wystawione na działanie światła lub, na przykład, nastąpi uszkodzenie ich łupiny. Obie te strategie ułatwiają chwastom kiełkowanie w świeżo zaoranej ziemi. Dlatego szybko pokrywa się ona chwastami.

10 Substancje, z których powstają tkanki roślin, pobierane są zarówno z powietrza, jak i z gleby. Atomy węgla i tlenu, będące składnikami wszystkich tkanek roślin, pobierane są z powietrza w postaci dwutlenku węgla. Inne niezbędne pierwiastki, wśród których jest azot, fosfor,

potas, siarka, wapń, magnez oraz pewna liczba pierwiastków śladowych, korzenie rośliny pobierają z gleby w postaci związków mineralnych. Roślina przetwarza te substancje nieorganiczne w związki organiczne, z których buduje swoje tkanki.

11 Rośliny nie mogą pobierać azotu wprost z powietrza, w którym znajduje się on w postaci cząsteczek N_2 , a nie atomów. Rośliny mogą wykorzystać azot dopiero wtedy, gdy jest on „związany” lub przetworzony w amoniak (NH_3).

Zdolność do wiązania azotu atmosferycznego mają pewne prokariotyczne organizmy jednokomórkowe – niektóre sinice i liczne bakterie.

Bez tych organizmów, które stanowią dla roślin źródło azotu, nie mogłoby istnieć na Ziemi życie wyższe. Bez nich nie byłoby żadnych roślin wielokomórkowych, a także zwierząt ani ludzi.

W oceanie azot wiążą sinice i niektóre bakterie fotosyntetyzujące. W glebie jest trochę wolno żyjących bakterii azotowych, lecz większość azotu wiążą bakterie żyjące w brodawkach na korzeniach roślin. Groch, soja i lucerna to kilka przykładów roślin,

w których żyją bakterie wiążące azot.

12 W celu wzbogacenia gleby w azot w postaci związanej stosuje się płodozmian. Rolnicy od wieków wiedzieli, że uprawa roślin, takich jak lucerna lub koniczyna, użyźnia glebę i powoduje, że uprawa następnych zasiewów jest wydajniejsza. Dzieje się tak dlatego, że te szczególne rośliny przechowują w swych korzeniach bakterie azotowe, a także dlatego, że bakterie te wiążą więcej azotu, niż zużywa roślina, na której się osiedliły.

Nadmiar azotu, wraz z materiałem zgromadzonym w samych

korzeniach rośliny, tworzy w glebie „rezerwę” związanego azotu, z której mogą go czerpać inne rośliny.

13 Pewne rośliny wykorzystują osobliwe nisze ekologiczne. Jemiola na przykład jest pasożytem. Część swoich potrzeb pokarmowych zaspokaja przez fotosyntezę (jest przecież mimo wszystko zielona), lecz inne substancje odżywcze pobiera z drzewa, na którym rośnie.

Podobnie zachowuje się roślina zwana muchołówką, której, jako dodatek do produktów fotosyntezy, trafia się od czasu do czasu przekąska w postaci owada.

Zwierzęta

14 Do królestwa zwierząt należą organizmy od tak prymitywnych jak gąbki aż po człowieka. Jest ono najbardziej zróżnicowane z pięciu królestw. Gąbki zbudowane są z wielu komórek, lecz każda z nich może funkcjonować niezależnie od innych. Jeżeli na przykład przetrze się gąbkę przez sito, to każdy kawałek, a nawet każda komórka są zdol-

ne do utworzenia nowego organizmu. U zwierząt wyższych, zatem i u ludzi, komórki mają wyspecjalizowane funkcje i ich działanie jest uzależnione od wszystkich pozostałych.

15 Zwierzęta korzystają z gotowych substancji organicznych. Jest to strategia ewolucyjna królestwa zwierząt. W odróżnie-

niu od roślin, które same wytwarzają sobie pożywienie w procesie fotosyntezy, zwierzęta muszą pobrać pokarm z otoczenia. Mogą to zrobić dwoma sposobami: trwać w miejscu i czekać, aż pożywienie do nich przyjdzie (tak jak koralce), lub aktywnie go poszukiwać (jak lampart).

Zwierzęta roślinożerne (np. króliki) żywią się roślinami, mięsożerne (np. wilki) jedzą inne zwierzęta, a wszystkożerne (np. ludzie i szopy) odżywiają się zarówno roślinami, jak i zwierzętami.

16 W królestwie zwierząt różni się wiele typów. Niektórzy biolodzy dzielą królestwo zwierząt na trzydzieści jeden różnych typów. Większość z tych typów obejmuje zwierzęta o prostej budowie. Stan zróżnicowania królestwa zwierząt ukazuje poniższa lista przykładowo wybranych typów.

- Gąbki (*Porifera*) – gąbki
- Parzydełkowce (*Cnidaria*) – krążkopławy, koralce, ukwiały
- Płazińce (*Plathelminthes*) – przywry, tasiemce
- Wrotki (*Rotifera*) – mikroskopijne organizmy
- Obłąki (*Nematohelminthes*) – nicienie
- Piersienice (*Annelida*) – skąposzczety, np. dżdżownice

Mięczaki (*Mollusca*) – małże, ślimaki

Stawonogi (*Arthropoda*) – pająki, owady, skorupiaki

Szkarłupnie (*Echinodermata*) – rozgwiazdy, jeżowce

Strunowce (*Chordata*) – wszystkie zwierzęta ze struną grzbietową z człowiekiem włącznie

17 Ewolucja zwierząt przebiegała poprzez wielką liczbę form prymitywnych, takich jak koralce, chelbie, płazińce, obłąki, piersienice i mięczaki. Reprezentują one różne typy świata zwierzęcego, które biolodzy uważają za równie ważne badania jak nasz typ strunowców.

Wygląd zwierzęcia może czasami wprowadzić w błąd. Rozgwiazdy i jeżowce wyglądają na zwierzęta proste, a są organizmami dosyć złożonymi. Reprezentują ostatnią gałąź drzewa ewolucyjnego, prowadzącą do strunowców, a więc do nas samych.

18 Typem, który odniósł największy sukces, są stawonogi. Należą do nich pająki, wije, skorupiaki (takie jak homar) i najważniejsze ze wszystkich – owady. Stawonogi cechuje twarde szkielet zewnętrzny (pancerz), którego części są tak połączone, by umożliwić zwierzęciu ruch.

Szkielet zewnętrzny nie rośnie, więc stawonogi muszą stary okressowo zrzucić (linienie), aby mogły zwiększać rozmiary ciała. Do stawonogów należy obecnie od 50 do 80 procent wszystkich gatunków zwierząt żyjących na Ziemi.

Skrzypłocze, których skorupy są wyrzucane obficie na plażę wschodniego wybrzeża Stanów Zjednoczonych, przetrwały prawie nie zmienione około 500 milionów lat.

19 Najdziwniejszymi zwierzętami są przedstawiciele typu *Pogonophora*. Żyją na dnie oceanu, skupione wokół ujść hydrotermicznych. Są to czerwone „robaki”, budujące długie, twarde rurki, w których żyją. Osiągają długość 7,5 m. Przyjmują pokarm, lecz nie mają otworu gębowego ani żadnego układu, który odpowiadałby przewodowi pokarmowemu. Rolę jelita odgrywa tzw. przestrzeń międzyczulkowa. Są to więc zwierzęta o zewnętrznym typie trawienia. Stanowią odrębny typ, ponieważ żadne zwierzę nie jest do nich podobne.

20 Stonogi wcale nie mają stu nóg. Różne gatunki tej grupy skorupiaków mają zaledwie po kilkanaście par odnóży. Więcej nóg (20–400 par) mają krocionogi – przedstawiciele jednej z grup wijów.

21 Spośród stawonogów największy sukces odniosły owady. Szacuje się, że całkowita liczba owadów na planecie sięga 10^{18} sztuk – na każdego człowieka w przybliżeniu przypada miliard owadów. Wszystkie mają trzy pary nóg (w odróżnieniu od pajaków – cztery pary) i szkielet zewnętrzny, a ich ciało dzieli się na trzy części: głowę, tułów i odwłok.

22 „Bóg nadzwyczaj umiłował sobie chrząszcze”. Podobno tymi słowami wybitny biolog angielski John Burdon Sanderson Haldane odpowiedział rozmówcy, który chciał się dowiedzieć, co badania przyrody pozwalają sądzić o zamiarach Stwórcy. Wśród owadów największy sukces odniósł rząd chrząszczy (*Coleoptera*). Chrząszcze stanowią około połowy wszystkich gatunków zwierząt poznanych dotychczas na Ziemi. Jako chłopiec

byłem zapalonym kolekcjonerem owadów. Zdziwiłem się bardzo, gdy się dowiedziałem, że tylko na obszarze Chicago żyją setki różnych gatunków chrząszczy. Zbieranie wszystkich tych gatunków wydało mi się zniechęcające i porzuciłem owady, przenosząc swoje zainteresowania na fizykę.

Tajemnica

23 Jakie jest pochodzenie kręgowców? Prześledzenie wszystkich etapów ewolucji, które doprowadziły do powstania współczesnych kręgowców, jest trudne. Jedną z teorii, opartą na obserwacji współcześnie żyjących zwierząt, jest następująca. Istnieją zwierzęta, których larwy pływają i mają coś podobnego do struny grzbietowej. W tym stanie przypominają z wyglądu prymitywne kijanki. W dorosłym życiu tracą zarówno zdolność poruszania się, jak i strunę grzbietową. Według tej teorii u zwierząt podobnych do wspomnianych wyżej zanikło stadium osobnika dorosłego i spędzają one całe życie w stanie larwalnym. W następnym etapie zaczęła się tworzyć chrząstka, a potem kostna osłona

struny grzbietowej (która razem ulegała redukcji). I to już były kręgowce. Rozpoczął się ich ewolucyjny rozkwit.

24 Kręgowce są podtypem typu strunowców. Podtyp ten dzieli się na następujące grupy:

kręglouste
ryby
płazy
gady
ptaki
ssaki

25 Rekiny wcale nie mają kości. Cały ich szkielet jest zbudowany z chrząstek, fakt ten wyjaśnia ich giętkość podczas pływania. Są przedstawicielami najbardziej prymitywnych form ryb. Oceany roiły się od ryb już 400 milionów lat temu. Właśnie ryby były wtedy najbardziej rozwiniętą formą kręgowców. Wiele z tych pradawnych ryb miało już szkielety kostne. Były wśród nich także olbrzymie ryby z pancerzami na głowach i ciałach – teraz należące już do wymarłych. Ryby kostnoszkieletowe, do których obecnie zaliczają się wszystkie gatunki ryb z wyjątkiem rekinów, rozwijały się w wodzie słodkiej i dopiero później przeniosły się do mórz.

26 Niektóre prymitywne ryby miały płuca i mogły oddychać powietrzem atmosferycznym. Pierwsze ryby kostnoszkieletowe miały płuca – prawdopodobnie po to, by móc pobierać więcej tlenu. U większości ryb płuca te przekształciły się w pęcherz pławny i nie są już używane do oddychania. Dawniej sądzono, że morskie ryby płucodyszne wymarły przeszło 70 milionów lat temu, okaz ryby mającej szczątkowe płuco. Potem znaleziono ich więcej i nie ma wątpliwości, że przynajmniej jedno „kopalne” zwierzę jest ciągle jeszcze wśród nas.

Wydaje się przy tym dość niezwykłe, że człowiek jest bliski dokonania tego, z czym nie poradziła sobie natura. „Żyjące skamieniałości” z Oceanu Indyjskiego stały się tak cennymi okazami muzealnymi, że grozi im całkowite wytepienie przez miejscowych rybaków.

27 Płazy, takie jak żaby i salamandry, pochodzą od ryb płucodysznych. O ich pochodzeniu świadczy fakt, że ciągle jeszcze spędzają w wodzie część swojego cyklu rozwojowego. Krokiem decydującym w ich ewolucji

było przekształcenie płetw w nogi, co umożliwiło im wyjście na ląd i poruszanie się w nowym środowisku.

28 Gady były pierwszymi kręgowcami całkowicie przystosowanymi do życia na lądzie. Należą do nich żółwie, jaszczurki, węże i krokodyle. Różnią się one od płazów następującymi cechami: mają łuski (co pozwala im zmniejszyć utratę wody), składają jaja zasobne w żółtko (dzięki temu młode mogą podrosnąć trochę, zanim się wyklują), mają serce zdolne do rozprowadzania tlenu po całym organizmie z większą wydajnością oraz bardziej złożony mózg.

29 Ptaki pochodzą od gadów. Ich cechami charakterystycznymi są: pióra (wykształcone z łusek), serce z dwiema całkowicie rozdzielonymi komorami i większy niż u gadów mózg. Mają również mostek z grzebieniem kostnym w klatce piersiowej, do którego są przymocowane mięśnie używane do latania („białe mięso”). Pierwotnie wszystkie ptaki były przystosowane do latania, jednak niektóre z nich, na przykład strusie, porzuciły ten sposób życia.

30 Ptaki są stałocieplne. Plazy i gady są zmiennocieplne, co oznacza, że temperatura ich ciała zależy od temperatury otoczenia. Z tego powodu żaby i węże są tak niemrawe rano i wiele czasu spędzają wygrzewając się w słońcu.

W odróżnieniu od płazów i gadów przemiana materii ptaków umożliwiła im utrzymanie stałej temperatury ciała. Współcześnie tylko ptaki i ssaki są obdarzone tą cechą, chociaż trwają dyskusje, czy już niektóre z dinozaurów nie były stałocieplne.

31 Ssaki to zwierzęta, które mają włosy, duże mózgi i karmią mlekiem swoje małe. Również są stałocieplne. Człowiek, podobnie jak większość

dużych zwierząt, należy do stałocieplnych. Stałocieplność umożliwia ssakom funkcjonowanie w klimatach zimnych, gdzie nie mogłyby przetrwać zwierzęta zmiennocieplne, a duże mózgi pozwalają na posługiwanie się różnymi strategiami społecznymi, niedostępnymi dla innych form życia.

Ssaki nie pojawiły się nagle po zniknięciu z powierzchni Ziemi dinozaurów. Obecne były już w tzw. epoce gadów, jednak w erze mezozoicznej we wszystkich ekosystemach odgrywały podrzędną rolę. Były stworzeniami wielkości myszy i z trudnością utrzymywały się przy życiu w świecie zamieszkanym przez wielkie gady. Ssaki rozwinęły się dopiero wtedy, gdy zostali usunięci ich wielcy rywale.

Jak zbudowane są zwierzęta

32 Każde zwierzę jest sumą układów jego narządów. Komórki, które żyją w twoim ciele (i ciałach wszystkich zwierząt), nie są beładnie rozsypane, lecz składają się na narządy, takie

jak żołądek lub serce. Narządy te z kolei wchodziły w skład układów, takich jak układ pokarmowy lub krwionośny. Dopiero zestaw układów tworzy całe zwierzę.

Układ pokarmowy

33 Układ pokarmowy przetwarza zjedzone pożywienie na substancje, które mogą być wykorzystane przez komórki. Pokarmem zwierząt są rośliny lub zwierzęta. Układ pokarmowy jest zwykle rurą ciągnącą się przez całe ciało. Wzdłuż tej rury przesuwa się pokarm. W trakcie przesuwania enzymy rozkładają duże cząsteczki pokarmu na mniejsze, wchłaniane następnie przez ciało zwierzęcia. W skład układu pokarmowego wchodzi narządy realizujące to zadanie.

34 Trawienie u człowieka rozpoczyna się w jamie ustnej już podczas żucia jedzenia. Wtedy pokarm zostaje rozdrobniony na małe kawałki, a jednocześnie enzymy zawarte w ślinie rozkładają skrobię. Matka miała więc rację, namawiając cię do starannego żucia podczas jedzenia.

35 Trawienie u człowieka kontynuowane jest w żołądku i w jelitach. Kwas solny w żołądku zabija drobnoustroje i umożliwia działanie pepsynie – enzy-

mowi rozpoczynającemu trawienie białka.

Enzymy wytwarzane w ściankach jelita cienkiego, w wątrobie i w trzustce wykonują zadanie podstawowe – rozkładają węglowodany, białka, tłuszcze i kwasy nukleinowe. Produkty rozkładu są wchłaniane przez ścianki jelita cienkiego. W jelicie grubym, zanim pozostałość zostanie wydalona z organizmu, ze strawionego pokarmu jest odbierana woda.

36 Wiele symbiotycznych bakterii żyje w jelicie grubym człowieka. Najslynniejszą z nich jest *Escherichia coli* (nazywana w skrócie *E. coli*). Duża część naszej wiedzy z dziedziny biologii molekularnej pochodzi z doświadczeń prowadzonych z wykorzystaniem laboratoryjnych kultur tej bakterii.

37 Krowy należą do roślinożerców przeżuwających. Podobnie jak wiele innych zwierząt nie mają w swoim układzie pokarmowym niczego, co by im umożliwiło samodzielne strawienie celulozy. Zamiast tego przeżuty pokarm przechodzi do komory żołądka, zwanej żwaczem, umieszczonej przed żołądkiem właściwym. W żwaczu pokarm zaczy-

nają rozkładać zamieszkujące tam pierwotniaki. Co pewien czas krowa zwraca pokarm do jamy gębowej, gdzie jest ponownie przeżuwany. Wstępnie strawiona trawa (teraz już w formie kwasów tłuszczowych) wraz z pierwotnikami przechodzi z kolei do właściwego żołądka i tam jest trawiona do końca.

38 Krowy nie są stuprocentowymi wegetariankami. Symbiotyczne pierwotniaki w ich przewodzie pokarmowym odgrywają podwójną rolę. Żyjąc w żwaczu, rozkładają celulozę i przetwarzają ją na białka zużywane do budowy własnego ciała. Gdy giną, ulegają przesunięciu do dalszych odcinków przewodu pokarmowego, gdzie zostają strawione. Tym samym dostarczają krowie gotowego białka.

Narządy zmysłów

39 Zwierzęta uzyskują informację o swoim otoczeniu za pomocą narządów zmysłów. Narządy te reagują zwykle na jeden z czterech rodzajów sygnałów:

światło, bodźce mechaniczne, temperaturę i stężenie określonych związków chemicznych. Pięć zmysłów człowieka to: wzrok (wykrywający światło), węch i smak (wrażliwe na substancje chemiczne) oraz dotyk i słuch (wyczuwające ciśnienie i drgania). Nie mamy żadnego specjalnego narządu zmysłu, służącego do wykrywania temperatury. Mamy natomiast wiele receptorów termicznych rozsianych po całej powierzchni ciała.

40 Zwierzęta mają oczy proste lub złożone. Niektóre zwierzęta jednokomórkowe mają światłoczułe plamki na swoich zewnętrznych powierzchniach, umożliwiające odróżnianie światła od ciemności. Dzięki temu mogą płynąć w kierunku światła, tzn. ku powierzchni zbiorników wodnych, w których żyją.

Owady mają oczy złożone. Oczy owadów i innych stawonogów składają się z wielu jednostek, z których każda ma własną soczewkę. Każda część oka owada jest w rzeczywistości oddzielnym „miniokiem” posiadającym własną soczewkę skupiającą światło na pojedynczym receptorze. Owad zatem widzi światło jako mozaikę położonych obok

siebie plamek. Nie dostrzega tak wielu szczegółów jak my, lecz może lepiej rejestrować ruch.

41 Ważki mają w każdym oku złożonym ponad dwadzieścia tysięcy soczewek.

42 Oczy człowieka i większości kręgowców są skomplikowane. Światło wpada do oka przez otwór źrenicy (czarną plamkę w środku tęczówki). Mięśnie w oku napinają się i rozluźniają, zmieniając w ten sposób ogniskową soczewki. Umożliwia to ostre widzenie przedmiotów znajdujących się w różnych odległościach od patrzącego. Światło skupia się na siatkówce znajdującej się na tylnej ściance oka, gdzie zachodzą reakcje chemiczne (patrz niżej) wywołujące impuls nerwowy przenoszony przez nerw wzrokowy do mózgu. W oku znajdują się dwa rodzaje komórek wrażliwych na światło – czopki i pręciki. Nazwy te pochodzą od kształtu tych komórek. Pręciki są wrażliwe na światło o małym natężeniu i niewrażliwe na barwy. To one pozwalają widzieć po ciemku. Za widzenie barwne odpowiadają trzy rodzaje czopków wrażliwych na kolory

niebieski, czerwony i zielony. I w czopkach, i w pręcikach znajdują się duże cząsteczki, które absorbują fotony i wywołują impulsy w nerwie wzrokowym.

43 Żaby, ptaki, jaszczurki i ludzie rozróżniają kolory – a psy nie. Sposób, w jaki widzisz kolory, jest bardziej złożony, niż mógłbyś przypuszczać. Barwa zależy od światła padającego – wyjaśnia to, dlaczego ubrania mają inne kolory w sklepie, gdzie są oświetlone światłem jarzeniowym, a inne na ulicy, w świetle słonecznym. Barwa zależy również od tego, w jaki sposób zostanie przetworzona w oku – malarze na przykład wiedzą od dawna, że kiedy położą kolor niebieski obok żółtego, to obszar w pobliżu granicy między tymi kolorami będzie się wydawał białawy, a sama granica będzie rozmyta. Postrzegana barwa zależy też od wcześniejszego doświadczenia patrzącego. Jeżeli pokaże się ludziom cegłę i drzewo w tym samym odcieniu szarości, to zobaczą cegłę jako czerwona, a drzewo jako zielonkawą.

44 Oko nie jest podobne do kamery telewizyjnej. Ka-

mera TV tworzy obraz, zamieniając to, co widzi, w szereg jasnych i ciemnych plamek (w przypadku telewizji kolorowej w trzy szeregi plamek – po jednym dla każdej barwy podstawowej). Między każdym miejscem na oglądanym przedmiocie a każdym miejscem na obrazie istnieje bezpośredni związek i jest on zachowany podczas kolejnych procesów, za pomocą których kamera tworzy obraz. Innymi słowy, można przerywać proces w każdym punkcie i powiedzieć: „Ten sygnał elektroniczny pochodzi od tej konkretnej plamki na tym dokładnie liściu”.

W mózgu nie dzieje się nic podobnego. Część kory mózgowej odpowiedzialna za widzenie może być połączona z różnymi częściami siatkówki i proces widzenia jest bardzo złożony. Okazało się na przykład, że pewna część kory mózgowej dobrze rozpoznaje linie poziome, inna część – linie pionowe, a jeszcze inna – kręwdzie obiektów itd. Ta złożona struktura mózgu jest powodem jego wielkiej przewagi w przetwarzaniu informacji wizualnej nad najszybszymi nawet komputerami, które, podobnie jak kamera TV, muszą przetwarzać informacje po kolei.

45 Narządy słuchu reagują na ciśnienie wywierane przez fale dźwiękowe. W uchu człowieka fale dźwiękowe wywołują drgania błony bębenkowej podobne do drgań skóry na bębnie. Ruch ten jest przenoszony przez szereg małych kosteczek do ucha wewnętrznego, gdzie wywołuje zmiany ciśnienia w cieczy zawartej w kanale o kształcie spirali, zwanym ślimakiem. Te zmiany ciśnienia wywołują odkształcenia wrażliwych na nie komórek, które z kolei wysyłają sygnał do mózgu.

46 Nie wszystkie zwierzęta mają narządy słuchu na głowie. Niektóre motyle nocne posiadają odpowiednik błony bębenkowej na środku tułowia, pająki i świerszcze – na nogach.

47 Smak i węch wymagają odbiorników sygnałów chemicznych. Aby poczuć smak czegoś, cząsteczki tej substancji muszą wejść w kontakt z wyspecjalizowanymi komórkami, które są częścią kubków smakowych na języku. Aby coś wyczuć, cząsteczki wachanej substancji muszą przedostać się poprzez powietrze

do twojego nosa, gdzie kontaktują się z wyspecjalizowanymi komórkami. W obu przypadkach oddziaływanie cząsteczek na komórki powoduje powstanie sygnałów przesyłanych przez układ nerwowy do mózgu.

Legendarny psi węch ma odbicie w anatomii tych zwierząt. Pies ma w swoim nosie ponad 200 milionów komórek węchowych, podczas gdy człowiek tylko 5 milionów. Czyżbyśmy coś tracili?

48 Samica jedwabnika ogląsza, że jest zdolna do zapłodnienia, wydzielając substancję nazywaną bombikolem. Stanowi ona sygnał chemiczny wywołujący zmianę zachowania osobnika płci przeciwnej. Samiec może wyczuć te „perfumy”, kiedy ich rozcieńczenie wynosi jedną cząsteczkę na trylion cząsteczek powietrza. Jest to prawdopodobnie najbardziej fantastyczne osiągnięcie zmysłu powonienia w królestwie zwierząt.

49 Na zmysł dotyku składa się wiele różnych rodzajów komórek nerwowych, będących receptorami. Tuż pod powierzchnią skóry znajdują się komórki ner-

wowe sygnalizujące ból oraz takie, które reagują na siłę nacisku dotknięcia. Głębiej znajduje się cała sieć komórek pełniących funkcje dotykowe. Są tam nawet komórki przytwierdzone do torebek włosów. Sygnalizują one dotknięcie włosa.

Muchy mają na swych ciałach komórki wrażliwe na ciśnienie powietrza, które sygnalizują im, kiedy zbliża się ku nim duże ciało – poruszając się spręża ono powietrze. Dlatego tak trudno uderzyć muchę ręką, a packi na muchy mają dziury, przez które może wydostać się powietrze.

Kości i mięśnie

50 Każde zwierzę musi mieć jakiś sposób przeciwstawienia się sile grawitacji. Najpospolitszym rozwiązaniem problemu jest szkielet na zewnątrz ciała, nazywany zewnętrznym (jak u owadów i mięczaków), lub wewnątrz ciała, wewnętrzny (jak u człowieka). Struktury odpowiadające obu tym strategiom noszą nazwy endoszkieletu i egzozszkieletu.

51 Szkielet wewnętrzny kręgowców składa się z kości i chrząstek. Kości pojawiają się

w tych miejscach, w których jest potrzebna sztywność i wytrzymałość na obciążenia, a chrząstki tam, gdzie jest potrzebna sprężystość. Na przykład twój nos i krtań są zbudowane z chrząstek. Chrząstki służą też jako amortyzatory w stawach.

W stawach części szkieletu są połączone za pomocą więzadeł, tj. twardych, mało elastycznych pasm, które łączą kości po jednej stronie stawu z kośćmi po drugiej stronie. Mała elastyczność więzadeł i ich powolne gojenie się wyjaśniają, dlaczego kontuzje kolana mają często zgubne skutki dla kariery sportowców.

52 W ciele człowieka występują dwa rodzaje mięśni. Mięśnie są zbudowane z wiązek długich komórek, które kurczą się, gdy otrzymają odpowiedni sygnał od układu nerwowego. Najprostsze mięśnie w ciele człowieka to mięśnie gładkie, odpowiedzialne za ruchy bezwiedne, takie jak rozszerzanie źrenic, skurcze jelit i żołądka. Mięśnie poprzecznie prążkowane umożliwiają nam poruszanie się. Mają bardziej złożoną budowę niż mięśnie gładkie i powstały później w procesie ewolucji. Specjalna grupa mięśni

poprzecznie prążkowanych powoduje rytmiczne ruchy serca pompującego krew.

Pytanie

Jaki rodzaj mięśni masz na myśli, kiedy mówisz dziecku: „Pokaż muskuly!”? Odpowiedź: Poprzecznie prążkowane.

53 Mięśnie są przyłączone do kości za pomocą ścięgien. Kiedy mięśnie się kurczą, pociągają za sobą ścięgna, ścięgna pociągają kości i następuje ruch. „Łokieć tenisisty”, czyli zapalenie ścięgien w stawie łokciowym, jest schorzeniem pospolitym. Może je wywołać każdy długo powtarzający się ruch, powodujący przeciążenie. Ja na przykład dorobiłem się „łokcia tenisisty”, używając piły łańcuchowej do pilowania drewna na opał.

Układ nerwowy

54 Układ nerwowy zwierząt gromadzi informacje, przetwarza je i wywołuje odpowiednie reakcje. Obwodowy układ ner-

wowy zbiera informacje od narządów zmysłów zwierząt i przekazuje je do ośrodkowego układu nerwowego (u człowieka jest nim mózg i rdzeń kręgowy), gdzie są przetwarzane. Kiedy zostanie już podjęta decyzja co do reakcji na powstałą sytuację, ośrodkowy układ nerwowy wysyła odpowiednie sygnały do autonomicznego układu nerwowego (kontrolującego działania mimowolne, na przykład bicie serca) i somatycznego układu nerwowego (regulującego reakcje ruchowe zależne od woli, takie jak poruszanie kończyną).

55 Impulsy nerwowe różnią się od zwykłego prądu elektrycznego. Przenoszone są przez układ nerwowy wzdłuż nerwów stanowiących sieć pojedynczych komórek nerwowych zwanych neuronami. Każdy nerw może przetransmitować wiele impulsów jednocześnie, podobnie jak kabel może przekazać wiele niezależnych rozmów telefonicznych. Punkty zetknięcia między końcami poszczególnych neuronów nazwano synapsami, a długie, cienkie części komórki nerwowej (przewody, wzdłuż których jest przesyłany impuls) – aksonami.

W układach elektronicznych, takich jak aparatura stereo, sygnały są przenoszone przez przewody wskutek ruchu elektronów. W nerwach impulsy wywołują ruch jonów potasu i sodu poprzez błonę komórkową aksonu. Kiedy impuls dotrze do końca neuronu, wydzieli się w nim substancja chemiczna nazywana transmiterem. Transmitter wywołuje pobudzenie następnego neuronu i impuls przemieszcza się dalej. Typowy czas reakcji neuronu jest równy 1 milisekundzie (0,001 s), czyli jest ponad tysiąc razy wolniejszy niż analogiczny element w komputerze osobistym.

56 Układ nerwowy wyższych zwierząt jest w wysokim stopniu scentralizowany. U zwierząt takich jak stulbia jest równomiernie rozproszony w całym ciele – przypomina sieć. U wyższych form zarówno narządy zmysłów, jak i części układu nerwowego, które przetwarzają informację i wywołują odpowiednią reakcję, są umieszczone w głowie. U płazińców i obleńców ten centralny układ sterujący jest po prostu zwojem nerwów. U kręgowców natomiast tworzy złożoną strukturę, którą nazywamy mózgiem,

57 Poszczególne części mózgu człowieka spełniają różne zadania. W mózgu można wyróżnić trzy główne części: przednią, środkową i tylną. Elementem tylnej części mózgu, leżącej przy podstawie czaszki, w miejscu, gdzie wchodzi do niej rdzeń kręgowy, jest tzw. mózdzek, który koordynuje ruchy automatyczne, na przykład wykonywane w celu odzyskania równowagi. Przednia część mózgu ma postać półkul mózgowych, których zewnętrzną warstwę stanowi kora mózgowa (tzw. istota szara), i właśnie w niej są przetwarzane dane pochodzące od narządów zmysłów. W korze mózgowej są ulokowane ośrodki wyższych funkcji intelektualnych, jak wyobraźnia, rozumowanie i pamięć. W środkowej części mózgu mają swoje źródło emocje. Tu są też zakodowane wrodzone programy zachowań.

58 Uczni nie w pełni jeszcze rozumieją złożoność mózgu. W książkach popularnych można dostrzec tendencję do zbyt uproszczonego widzenia roli trzech części mózgu: część tylna – nieświadoma, prymitywna egzystencja, część środkowa – zwierzęce emocje, część przednia (kora

mózgowa) – funkcje „wyższe”. Można się także zetknąć z inną interpretacją: część tylna = id, część środkowa = ego, kora mózgowa = superego.

Nie jest to takie proste! Badanie złożoności mózgu człowieka jest zajęciem, które zajmie naukowcom jeszcze dużo czasu. Przedstawione powyżej, nadmiernie uproszczone podziały funkcji nie są już przez naukę akceptowane.

59 Oprócz systemu sygnałów przesyłanych przez nerwy zwierzęta kontrolują funkcjonowanie swego organizmu za pomocą hormonów. Substancje te są wydzielane przez wyspecjalizowane gruczoły zwane dokrewnymi. Hormony krążą z krwią po całym organizmie i mają wpływ na działanie różnych narządów. U człowieka gruczoły dokrewne tworzą tzw. układ endokrylny (wydzielania wewnętrznego). A oto przykład działania hormonów. Gdy jesteś przerażony, gruczoły położone w sąsiedztwie nerek wydzielają adrenalinę, która powoduje przyspieszenie akcji serca i zwiększenie dopływu krwi do mięśni.

Krążenie, oddychanie, wydalanie

60 Utlenianie (spalanie) jest podstawową reakcją chemiczną dostarczającą zwierzętom energię. Warunkiem zachodzenia tych reakcji jest istnienie systemu doprowadzającego tlen najpierw do wnętrza ciała, a następnie do pojedynczych komórek, oraz sposobu usuwania zbędnych produktów reakcji z komórek i z całego ciała. Wykonanie tych zadań zapewniają trzy współzależne procesy: wymiana gazowa (pobieranie tlenu i usuwanie dwutlenku węgla), krążenie (rozprowadzanie tlenu do komórek i odbieranie od nich zbędnych produktów reakcji) oraz wydalanie (usuwanie z ciała ubocznych produktów przemiany materii).

61 Sposób, w jaki zwierzę pobiera tlen z otoczenia, zależy od jego rozmiaru oraz od tego, czy żyje ono w wodzie, czy na lądzie. Zwierzęta jednokomórkowe pobierają wystarczającą ilość tlenu (i wydają dwutlenek węgla) drogą dyfuzji całą powierzchnią ciała. Nie potrzebują żadnego układu oddechowego. U zwierząt oddychających skrzelami (skoru-

piaki i ryby) listki skrzelowe zawierające naczynia krwionośne stale opłukuje woda. Następuje wówczas dyfuzja tlenu z wody do krwi, a dwutlenku węgla w odwrotnym kierunku. Płuca są przystosowaniem do życia na lądzie. Powietrze jest wciągane do wnętrza płuc i pozostaje tam przez czas potrzebny na to, aby nastąpiła wymiana gazowa. Owady nie mają płuc, lecz wiele rurek, zwanych tchawkami, które rozprowadzają po całym organizmie tlen, dostający się przez otworki na powierzchni ciała.

62 Stalocieplne zwierzęta wodne, które z powodu swoich rozmiarów potrzebują mnóstwa tlenu, nie mogą uzyskać go z wody w wystarczającej ilości. Określona objętość wody zawiera tylko kilka procent tego tlenu, który znajduje się w tej samej objętości powietrza. Dlatego wieloryby i morswiny oddychają powietrzem atmosferycznym. Na dodatek, w miarę nagrzewania się wody, zmniejsza się ilość zawartego w niej tlenu. Wskutek tego ciepła woda zawiera mniej tlenu niż zimna. Jest to przyczyną przenoszenia się

ryb w ciągu dnia w miejsca głębsze (i chłodniejsze).

63 Zwierzęta o wyższym poziomie zorganizowania mają serca. Zadaniem układu krążenia jest dostarczanie tlenu i substancji pokarmowych komórkom organizmu i usuwanie z nich zbędnych produktów przemiany materii. U prostszych zwierząt, takich jak nicienie, krew po prostu przelewa się w jamie ciała. U zwierząt bardziej zaawansowanych w rozwoju krew jest pompowana przez serce. Serce kręgowców jest zbudowane z dwóch rodzajów jam – te, do których krew napływa, noszą nazwę przedsionków, a te, z których krew jest wypychana, nazywamy komorami. Ryby mają jeden krwiobieg: krew z serca przepływa przez skrzelę, gdzie się natlenia, po czym jest rozprowadzana po całym organizmie. Oddawszy tlen komórkom ciała, powraca do serca. Serce ryb składa się z dwóch jam – przedsionka i komory. Serce człowieka jest czterojamowe – składa się z dwóch przedsionków i dwóch komór. Pozwoliło to na wykształcenie się dwóch obiegow krwi. Jeden zestaw jam obsługuje tzw. obieg mały, tłocząc

krew do płuc i odbierając ją stamtąd w formie natlenionej. Drugi zestaw jam obsługuje obieg duży, rozprowadzając natlenioną krew po całym organizmie i doprowadzając do serca krew odtlenioną.

64 Krew wypływa z serca tętnicami, a dopływa do niego żyłami. U człowieka krew wypływa z lewej komory do rozgałęzionego układu coraz drobniejszych tętnic, przechodzących w sieć naczynek o bardzo małych średnicach, zwanych naczyniami włosowatymi. Naczynia włosowate przenikają całe ciało. W nich odbywa się proces przechodzenia tlenu z krwi do komórek, a także proces przechodzenia dwutlenku węgla i innych zbędnych produktów przemiany materii z komórek do krwi. Do serca krew wraca żyłami, które doprowadzają ją do prawego przedsionka, skąd przechodzi do prawej komory. Z prawej komory krew płynie do płuc, gdzie się pozbywa dwutlenku węgla i pobiera tlen. Z płuc krew wraca do lewego przedsionka, potem do lewej komory i obieg się powtarza.

65 Krążenie krwi odkrył William Harvey (1578–1657). Rola serca w krążeniu krwi nie

była rozpoznana aż do opublikowania pracy Harveya w 1628 r. Tak więc ludzie przez większą część swojej historii myśleli, że krew się nie przemieszcza. Dokonując klasycznych eksperymentów, Harvey ustalił to, co teraz wiemy o krążeniu krwi. Typowe jego doświadczenie wyglądało następująco. Zakładał opaskę uciskową na czyjeś ramię i kiedy żyły nabrzmiały, naciskał je, by się przekonać, w którym kierunku płynie krew. W ten sposób odkrył, że krew w żyłach zawsze płynie w kierunku serca.

66 Ciśnienie wytwarzane przez pulsowanie serca nie wystarcza do przepchnięcia krwi przez cały krwiobieg z powrotem do serca, zwłaszcza wówczas, gdy krew musi przebywać drogę w górę. W trakcie przemieszczania się krwi pracę serca wspomaga pulsowanie tętnic, wyposażonych we własną mięśniówkę. Cofaniu się krwi zapobiegają natomiast znajdujące się w żyłach zastawki.

67 Krew jest substancją bardzo złożoną. Ponad połowę objętości krwi stanowi żółty płyn nazywany osoczem, który przenosi większość chemicznych składników odżywczych. Krwinki

czerwone transportują tlen, a większe, lecz mniej liczne, krwinki białe bronią organizmu przed ciałami obcymi i drobnoustrojami. Oprócz osocza oraz białych i czerwonych krwinek w skład krwi wchodzi także płytki krwi. Powstają one w szpiku kostnym i odgrywają ważną rolę w krzepnięciu krwi.

Krew zawdzięcza swoją czerwoną barwę niezbyt skomplikowanemu o nazwie hem. Centrum cząsteczki hemu stanowi pojedynczy atom żelaza, który ma wolne wiązania dla czterech atomów tlenu. Hem wraz ze specjalnym białkiem tworzy hemoglobinę. Schemat jej budowy nieco przypomina koronkową serwetkę. Dzięki hemoglobinie krew przenosi cztery do siedmiu razy więcej tlenu, niż mogłoby być przeniesione, gdyby tlen tylko rozpuszczał się w osoczu.

68 Krwinki czerwone nie dzielą się. Powstają w szpiku kostnym z prędkością 140 000 na minutę i po kilku miesiącach użytecznego życia ulegają zniszczeniu w śledzionie.

69 Każde zwierzę musi w jakiś sposób usuwać zbędne produkty przemiany materii. Każdy organizm dysponuje mechanizmem zmiany składu płynów ustrojowych w celu pozbycia się substancji zbytecznych lub szkodliwych. U zwierząt zadanie to jest realizowane na różne sposoby. Proste zwierzęta (takie jak płazińce) mają układ wydalniczy w postaci kanałów zakończonych specjalnie ukształtowanymi komórkami. Komórki te czerpią roztwór metabolitów wprost z ciała i kierują go do kanałów otwierających się na zewnątrz. U innych zwierząt (np. skorupiaków) krew jest oczyszczana przez filtrowanie. Może kiedy ostatnio jadłeś homary, zwróciłeś uwagę na zielone narządy u nasady czulków – są one uważane za smakołyk. To są właśnie narządy wydalnicze.

70 Narządami wydalniczymi kręgowców są nerki. Krew wpływająca do nerki jest oczyszczana w licznych tzw. kłębuszkach naczyniowych, nefronach, które są elementami czynnościowymi nerek. Krew jest tam filtrowana, a następnie niektóre substancje są ponownie wchłaniane, a reszta przepływa z nerek do pęcherza moczowego i stamtąd

jest wydalana poza organizm. Nerki to w istocie skomplikowane fabryki chemiczne, które zachowują równowagę różnych substancji w organizmie, w tym także wody. Są wyspecjalizowane w utrzymywaniu równowagi wodnej twojego organizmu – możesz wypić tylko litr wody dziennie albo aż kilkanaście w czasie jednego posiedzenia i ciągle jeszcze będziesz żył. Jednak nerki nie mogą produkować moczu o stężeniu soli większym niż 2 procent. Jeżeli wypijesz roztwór podobny do wody morskiej (która ma 3 procent soli), to nerki muszą zabrać dodatkową wodę z twojego organizmu, żeby rozcieńczyć nadmiar soli w moczu. Wskutek tego procesu organizm ulega odwodnieniu. Wyjaśnia to sens cytatu z *Pieśni o starym żeglarzu* S. T. Coleridge'a: „Dookoła woda, woda, ale do picia ani kropli”.

71 Biała część ptasich odchodów to mocz. U człowieka ciekłe pozostałości przemiany materii są zbierane w pęcherzu moczowym i wydalane jako płynny mocz. U owadów, gadów i ptaków jest inaczej. Woda jest zabie-

rana z moczu, a pozostały kwas moczowy jest mieszany ze stałymi nie strawionymi re-

sztkami i wydalany wraz z nimi. Zwierzęta te nie wydalają moczu oddzielnie.

Rozmnażanie się i rozwój zwierząt

72 Zwierzęta mogą rozmnażać się płciowo lub bezpłciowo. W przypadku zwierząt rozmnażających się drogą płciową potomek ma dwoje rodziców (z wyjątkiem samozapłodniających się obojnaków) i każde z nich przekazuje połowę genów. Przy rozmnażaniu bezpłciowym wszystkie geny pochodzą od jednego osobnika macierzystego. Organizmy jednokomórkowe rozmnażają się głównie bezpłciowo. Bezpłciowo mogą się też rozmnażać gąbki, wypuszczając pączek na ciele osobnika macierzystego. Pączek ten następnie się odrywa i dalej rozwija się już samodzielnie.

73 Wiele zwierząt wyższych także rozmnaża się bezpłciowo. Chociaż większość zwierząt wyższych ma dwoje rodziców, niektóre z nich są zdolne do rozmnażania się bezpłciowo.

74 Kiedy zwierzęta rozmnażają się płciowo, to każde z dwojga rodziców przekazuje osobnikowi potomnemu połowę swoich genów. Zwierzęta rozmnażające się płciowo dzięki podziałom redukcyjnym wytwarzają komórki zawierające połowę liczby genów. Komórki takie nazywają się gametami. Gameta męska to plemnik, a żeńska – jajo. Każde z rodziców przekazuje potomstwu jedną z tych wyspecjalizowanych komórek i w ten sposób organizm potomny ma komplet genów (po połowie od każdego z rodziców).

75 Rozmnażanie płciowe może odbywać się bez uprawiania seksu. Nie jest konieczne, aby dwoje zwierząt kopulowało ze sobą. W przyrodzie spotyka się wiele różnych strategii zetknięcia się gamety męskiej z żeńską. Może to być aktywność seksualna, jaka normalnie występuje u ludzi, lecz

również zachowanie tak bezosobowe, jak produkowanie przez osobniki męskie i żeńskie ogromnej liczby gamet i puszczanie ich z prądem wody, w nadziei, że odpowiednie komórki gdzieś się ze sobą spotkają.

Układy rozrodcze

76 Pierwszym etapem rozmnażania się zwierząt jest wytworzenie gamet. Każde zwierzę rozmnażające się płciowo ma specjalne komórki nazywane pierwotnymi komórkami płciowymi, które wytwarzają albo jaja (żeńskie komórki płciowe), albo plemniki (męskie komórki płciowe). Jaja są zwykle wytwarzane w narządach zwanych jajnikami, a plemniki w jądrach. Narządy te mogą, lecz nie muszą, występować razem w tym samym osobniku. Niektóre gąbki, płazińce i mięczaki mają narządy zarówno męskie, jak i żeńskie. Oczywiście człowiek ma albo tylko męskie, albo tylko żeńskie.

77 Pierwotne komórki płciowe w narządach męskich dzielą się najpierw mitotycznie – powstaje wówczas wielka liczba sperma-

tocytów. Spermatoocyty przechodzą następnie mejozę (podział redukcyjny), w wyniku czego tworzą się spermatydy. Te przekształcają się w dojrzałe plemniki o złożonej budowie; ich główki zawierają DNA, a długie wtki umożliwiają poruszanie się.

78 Antonie van Leeuwenhoek (1632–1723) był pierwszym człowiekiem, który zobaczył ludzki plemnik i zrozumiał jego rolę w rozmnażaniu. Wierzył jednak, że główka każdego plemnika zawiera miniaturę istoty ludzkiej, która po zapłodnieniu osiągnie dojrzałość.

79 Omne vivum ex ovo. Wszystko, co żyje, powstało z jaja. W ten sposób William Harvey (1578–1657) podsumował odkrycie roli komórki jajowej w rozmnażaniu. Odkrycie to zakończyło długie naukowe dociekania dotyczące ustalenia precyzyjnego mechanizmu rozmnażania się człowieka.

• Komórki jajowe niektórych zwierząt, powstałe w wyniku podziału mejotycznego pierwotnej komórki płciowej, podlegają dal-

szemu rozwojowi. Mogą być na przykład wzbogacane żółtkiem (które dostarcza substancji odżywczych rozwijającemu się zarodkowi) i okrywane skorupką.

Rozmiary jaj są różne u różnych gatunków. Na przykład komórka jajowa człowieka ma tylko nieco ponad jedną dziesiątą milimetra średnicy. Mimo swych niewielkich rozmiarów jajo ludzkie jest prawie dwieście tysięcy razy większe niż plemnik.

80 Rekordowe jajo. Największe jajo wytwarzane przez zwierzę ma około 17 cm długości i występuje u niektórych gatunków rekiniów.

81 Głównym aktem rozmnażania płciowego jest zapłodnienie. Plemnik łączy się z jajem.

Zwierzęta osiadłe na ogół uwalniają jednocześnie jaja i plemniki do środowiska, gdzie dochodzi do ich przypadkowych spotkań. Strategia ta jest stosowana przez takie zwierzęta jak ostrygi.

Inne zwierzęta, na przykład żaby, przywierają do siebie i jednocześnie uwalniają jaja (skrzek) i plemniki do otoczenia. Zarówno ten żabi sposób, jak i tarło

u ryb są przykładami zapłodnienia zewnętrznego, tzn. takiego, w którym zetknięcie plemnika z jajem następuje poza ciałem samicy.

82 U zwierząt najbardziej zaawansowanych zapłodnienie jest wewnętrzne. U człowieka i innych ssaków, a także innych zwierząt wyższych, do zapłodnienia dochodzi po wprowadzeniu plemników do wnętrza ciała samicy i przemieszczeniu się ich w kierunku jaja.

Plemniki człowieka wytwarzają substancję, która ułatwia im przeniknięcie przez osłonki jaja, lecz pojedynczy plemnik nie produkuje wystarczającej ilości tej substancji. Oznacza to, że zewnętrzne osłonki jaja mogą być pokonane dopiero przez wspólne działanie wielu plemników. Jeden z nich przedostanie się wtedy do wnętrza jaja i dokona zapłodnienia.

83 Królowa pszczoł odbywa lot godowy tylko raz w życiu. Wkrótce po osiągnięciu dojrzałości opuszcza gniazdo i odbywa gody z trutniami. Akt płciowy następuje w czasie lotu na wysokości

kilkudziesięciu metrów nad ziemią. Królowa magazynuje wszystkie plemniki w specjalnych narządach w swoim ciele i używa ich do zapładniania jaj przez wiele miesięcy, a nawet lat. Przechowywane przez królową plemniki stanowią kapitał genetyczny roju.

84 Komórka powstała z zapłodnionego jaja, której jedna połowa genów pochodzi od jednego, a druga połowa od drugiego rodzica, nosi nazwę zygoty. Kiedy zygoty już się utworzy, może być ochraniajana lub nie.

Ostrygi i niektóre inne zwierzęta pozostawiają jaja własnemu losowi. Rodzice nie muszą wykonywać żadnych czynności w celu ochrony potomstwa. Rozmnażanie się tych zwierząt polega na zapłodnieniu tak wielu jaj, że część potomstwa na pewno przeżyje. Wyżej zorganizowane zwierzęta ochraniają rozwijające się organizmy potomne na różne sposoby. Zarodki mogą na przykład być umieszczone w jaju o twardej skorupce albo dojrzewają całkowicie wewnątrz ciała matki (jak u człowieka). Mogą też być urodzone wcześniej i noszone w torbie lęgowej, jak

w przypadku kangurów oraz oposów.

85 Z zygoty – zapłodnionej komórki jajowej – rozwija się organizm składający się z bilionów komórek rozmaitych rodzajów. Rozwój zygoty i różnicowanie się powstałych z niej komórek jest jednym z najbardziej fascynujących (i najbardziej tajemniczych) procesów w przyrodzie. Instrukcja rozwoju jest zawarta w DNA, który znajdował się w jaju i plewniku. Zrozumienie, czym są te instrukcje i jak działają, jest wielkim zadaniem stojącym przed współczesną nauką.

Wszystkie organizmy powstałe w wyniku procesu płciowego przechodzą przez stadium zygoty. Embryon jest stadium rozwojowym organizmu potomnego od momentu rozpoczęcia podziałów zygoty do momentu opuszczenia osłon jajowych lub organizmu matki.

86 Ontogeneza jest jak gdyby skróconym powtórzeniem filogenezy. W XIX w. biologowie zauważyli, że w miarę rozwoju embrionu przechodzi on przez stadia, które wyglądają podobnie jak dorosła postać organizmów mniej zaawansowanych. Na

przykład zarodek człowieka w jednym ze stadiów rozwoju ma łuki skrzelowe i kształtem przypomina kijankę. W XIX w. to tzw. prawo biogenetyczne było uważane za dowód, że ewolucja postępuje wzdłuż linii mniej lub bardziej prostej od organizmów najprostszyc do najbardziej złożonych, których ukoronowaniem jest istota ludzka. Teraz już nie myślimy o ewolucji w ten sposób, lecz prawo biogenetyczne pozostało pożytecznym uogólnieniem dotyczącym przebiegu rozwoju embrionu.

87 Rozwój embrionu rozpoczyna się od podziału zygoty. Pojedyncza komórka – zygoty – dzieli się najpierw na 2 komórki, potem na 4, 8, 16 itd. Pierwsze podziały przebiegają synchronicznie, tzn. wszystkie komórki dzielą się z grubsza w tym samym czasie. Później synchronizacja znika. Jeżeli prześledzi się historię komórek w początkowym stadium rozwoju embrionu, to okaże się, że pewne komórki powstałe w wyniku podziałów wchodziły w skład układu nerwowego, inne są częścią układu pokarmowego, a jeszcze inne – układu szkieletowego itp.

88 Zdolność komórek do zmiany swego przeznaczenia znika bardzo wcześnie w rozwoju embrionalnym. Zdolność ta nazywana jest omnipotencją. Jeżeli bardzo wcześnie w rozwoju embrionalnym pobierzemy komórkę z jednego miejsca i przeniesiemy do innego, to będzie się ona rozwijać zgodnie ze swoim nowym miejscem. Potem jest to już niemożliwe. W późniejszych stadiach, jeżeli nie wyspecjalizowana komórka zostanie przeniesiona z jednego miejsca w embrionie do innego, to rozwinie się w typ komórki właściwy okolicy, z jakiej została pobrana.

89 Rozwój komórkowy nie kończy się w chwili urodzenia. Mówiąc o rozwoju komórkowym, myśli się zwykle o rozwoju embrionalnym, lecz komórki dzielą się nadal także po urodzeniu. Każdy, kto obserwował rosnące dziecko, wie, że jest to prawda. Niektórzy naukowcy sądzą, że cała historia naszego życia od zapłodnienia do starzenia się i śmierci jest zaprogramowana w naszych genach.

Tajemnica

90 Dlaczego się starzejemy?

Dopiero niedawno specjaliści zaczęli zadawać to pytanie w sposób naukowy. Odpowiedź zależy od tego, do której z dwóch szkół należy zapytany uczonec. Jedna szkoła twierdzi, że starzenie się jest skutkiem „akumulacji wypadków”. Dokonuje się, ponieważ nasze ciała są w czasie trwania życia niewłaściwie używane i podlegają niekorzystnym wpływom. Druga szkoła głosi, że starzenie się jest zaprogramowane w naszych genach. Teza o zaprogramowanym starzeniu się znalazła potwierdzenie w kilku doświadczeniach. Okazało się na przykład, że komórki embrionu człowieka hodowane w warunkach laboratoryjnych mogą, zanim umrą, dzielić się tylko około pięćdziesięciu razy, niezależnie od tego, jak wiele się im dostarczy substancji pokarmowych.

Programowane starzenie się ma sens z punktu widzenia biologii ewolucyjnej. Kiedy organizm staje się zbyt stary, aby móc się rozmnażać, dobór naturalny nie będzie podtrzymywał jego dalszego życia, a także życia jemu podobnych osobników. Innymi

słowy, ewolucja nie faworyzuje długowieczności. Wprost przeciwnie, gdyby zużycie energii potrzebnej do zapewnienia wdzięcznego starzenia się obniżało zdolności reprodukcyjne społeczności, to długie życie osobników niezdolnych już do rozmnażania się byłoby dla ewolucji czynnikiem szkodliwym.

91 Nie ma żadnej naukowej definicji momentu, od którego zaczyna się życie osobnicze. Jedną z poważnych trudności, na jaką natknięto się podczas debaty na temat aborcji w Stanach Zjednoczonych, jest rozstrzygnięcie kwestii, kiedy zaczyna się życie. Przeciwnicy aborcji twierdzą, że zaczyna się ono od poczęcia. Zwolennicy osobistego prawa do aborcji twierdzą, że życie zaczyna się później. Jednakże powinno być jasne, że nie ma żadnego wyraźnego momentu przejścia od pierwotnej komórki płciowej przez zygotę do noworodka, o którym można powiedzieć: „Teraz zaczęło się życie”. Proces ten jest ciągły, a odpowiedzi na pytanie, kiedy zaczyna się życie, należy szukać poza nauką. Odżywa w tym pytaniu stara teologiczna dyskusja na temat – kiedy człowiek wchodzi w posiadanie duszy.

Teorie dotyczące początków życia

92 Życie rodzi się z życia. Jest to bezspornie jedna z najważniejszych prawidłowości biologii. Żadne nowe życie nie może powstać z materii nieożywionej. Istota żywa może powstać tylko z istoty żywej. Jest to oczywiste, jeżeli się pamięta o podziale komórek. Nie było to jednak tak oczywiste w czasach, gdy ludzie nie wiedzieli o istnieniu komórek i za jednostkę „życia” uważali cały organizm.

93 Przez większą część swojej pisanej historii ludzie wierzyli w samorództwo. Wierzono, że życie może powstać samoistnie z materii nieożywionej. Na przykład w zepsutym mięsie pojawiają się czerwie. Czyż trzeba więcej dowodów? Żaby i salamandry miały powstawać z mułu, a pchły – z piasku itp. Teoria samorództwa umierała długo. Trzeba było wielu doświadczeń i kilku wieków, zanim została pogrzebana. Pierwszy cios tej teorii zadał w 1668 r. włoski lekarz Francesco Redi. Udowodnił, że czerwie nie pojawiają się w mięsie, gdy muchy nie mają do niego dostępu. Wylęgają się natomiast z jaj złożonych na

mięsie przez muchy. Po pewnym czasie z czerwi powstawało nowe pokolenie much, czyli życie z życia. Holenderski uczonec Antonie van Leeuwenhoek śledził cykl rozwojowy pcheł za pomocą świeżo wynalezionej mikroskopu i udowodnił, że pchły również rodzą się z pcheł. Przed końcem XVIII w. teoria samorództwa była już poważnie zdyskredytowana.

94 Teoria o samorództwie komórek była znacznie trudniejsza do obalenia. Dopiero w 1875 r. mikroskopy rozwinęły się w takim stopniu, że można było obserwować i opisać mitozę. Do tego czasu fakt, że w wyniku fermentacji sok winogronowy zamienia się w wino niezależnie od tego, czy jest przykryty ściereczką, czy nie, był dowodem na samorództwo drożdży. Zdecydowanie zaprzeczył temu Ludwik Pasteur, który za pomocą pomysłowych doświadczeń w latach pięćdziesiątych i sześćdziesiątych XIX w. wykazał, że samo powietrze jest pełne mikroorganizmów zdolnych do wywołania takich właśnie efektów.

Organizmy jednokomórkowe

95 Organizmom jednokomórkowym oddano całe dwa królestwa. Dawniej jednokomórkowce były klasyfikowane albo jako rośliny, albo jako zwierzęta – zależnie od tego, czy pobierały energię z fotosyntezy, czy przez przyjmowanie gotowego pokarmu. Ostatnio stwierdzono, że organizmy te niezbyt dobrze pasują do tradycyjnych kategorii, więc wydzielono dla nich dwa nowe królestwa: Monera i Protista. Królestwo Monera jest jedynym królestwem tworzącym nadkrólestwo Procaryota – organizmów, których komórki nie mają wykształconych jąder. Królestwo Protista jest natomiast jednym z czterech królestw nadkrólestwa Eucaryota – organizmów mających jądra komórkowe. Budowa organizmów prokariotycznych (prokariotów) jest prostsza niż eukariotycznych (eukariotów).

96 Komórki przedstawicieli królestwa Monera są zbudowane prościej niż komórki przedstawicieli pozostałych królestw. Są nie tylko prokariotyczne (nie mają jądra, ich DNA wy-

stępuje w postaci splątanej nici zawieszanej w cytoplazmie), lecz brak im także wielu elementów składających się na budowę komórek bardziej zaawansowanych. Uważa się, że wiele organelli było pierwotnie żyjącymi istotami, które weszły w symbiotyczne związki z organizmami wyższymi. Komórki bardziej zaawansowane w rozwoju powstały z wielu różnych prostych komórek, które nauczyły się żyć wspólnie.

97 Organizmy prokariotyczne, czyli bakterie i sinice, są mniej wyspecjalizowane niż reszta świata istot żywych. Być może dlatego, że są względnie proste i mają zdolności, które utraciły już komórki bardziej zaawansowane.

Wyobrażam sobie, że jednokomórkowe organizmy prokariotyczne (Procaryota) są podobne do prostego komputera osobistego, który jest gotowy do rozpoczęcia pracy za każdym razem, kiedy zostanie włączony. Bardziej zaawansowane komórki porównałbym do wymyślnych maszyn,

które mogą wykonać więcej prac, lecz muszą za każdym razem być zaprogramowane od nowa.

Podobnie jak wszystkie inne istoty żywe, bakterie i sinice muszą mieć źródło energii i źródło potrzebnych surowców. I energia, i surowce mogą pochodzić ze świata organicznego lub nieorganicznego. Prokarioty otrzymują energię z fermentacji substancji organicznych, fotosyntezy lub utleniania substancji nieorganicznych.

Najważniejszym materiałem, który organizmy te muszą pobrać z otoczenia, jest węgiel. Część z nich pobiera węgiel z substancji organicznych – to one są odpowiedzialne za gnicie obumarłych roślin i zwierząt. Inne pobierają węgiel ze związków nieorganicznych, na przykład asymilują dwutlenek węgla z powietrza.

98 Organizmy należące do królestwa Monera mogą być aerobami lub anaerobami. Anaeroby mogą zdobywać energię tylko w warunkach beztlenowych. Bakterie, które przetwarzają stos odpadków w kompost, należą do tej grupy. Inne prokarioty do życia potrzebują tlenu. Są aerobami.

99 Być może najbardziej niezwykły mechanizm zdobywania energii przez przedstawicieli prokariotów został odkryty u organizmów żyjących wiele tysięcy metrów pod powierzchnią oceanów, w pobliżu ujść hydrotermicznych. Bakterie te uzyskują energię z utleniania siarkowodoru wydobywanego się z tych ujść i stanowią podstawę łańcucha pokarmowego, który obejmuje także różne rodzaje skorupiaków i wielkie *Pogonophora*.

100 Podział organizmów jednokomórkowych na gatunki nie jest oparty na kryterium zdolności do krzyżowania się. Muszę przyznać, że zawsze miałem dużo kłopotów z biologami, którzy mówili o „gatunkach” organizmów jednokomórkowych. Przecież przedstawiciele jednego gatunku powinni być zdolni między innymi do krzyżowania się. Jeżeli nie dochodzi do zapłodnienia, a całe rozmnażanie odbywa się przez podział komórek, to czy można w tym przypadku mówić o gatunkach? Wygląda na to, że biolodzy używają terminu „gatunek” tylko przez analogię

do sposobu, w jaki termin ten jest używany w stosunku do bardziej złożonych organizmów. W praktyce gatunki organizmów jednokomórkowych różnią się według niszy ekologicznej, którą zajmują, sposobu wytwarzania energii i budowy komórki.

101 Bakterie są najlepiej znanym typem prokariotów. Zwykle mają kształty kuliste, pałeczkowate, spiralne lub w różny sposób zakrzywione. Często tworzą kolonie składające się z wielu niezależnych od siebie komórek. Część biologów uważa, że takie kolonie mogły być zaczątkiem wielokomórkowości w wyższych formach życia.

102 Bakterie wywołują choroby u ludzi, lecz także pomagają je leczyć. Jesteśmy obeznani z bakteriami, ponieważ różne ich gatunki są odpowiedzialne za znaczną liczbę chorób człowieka. Gruźlica, ropne zapalenie gardła, syfilis, czerwonka i cholera to przykłady chorób wywołanych przez bakterie. Proszę jednak nie sądzić, że bakterie są tylko plagą. Na przykład z promieniowców z rodzaju *Streptomyces* uzyskuje się streptomycynę, jeden z najbardziej rozpó-

wszechnionych antybiotyków. Także wiele innych produkuje się, wykorzystując bakterie. Łagodna bakteria *E. coli* jest powszechnie wykorzystywana jako materiał do badań w biologii molekularnej.

103 Gatunki bakterii, znane jako chlamydie i riketsje, są najmniejszymi istotami żywymi – mają zaledwie kilkaset atomów średnicy. Są mniejsze niż największy wirus. Zawierają prawie o połowę mniej DNA niż inne bakterie. Jest to najmniejszy „kawalek życia”, jaki istnieje.

104 Sinicom (zwanym też cyjanobakteriami) zadržujemy ogromne ilości tlenu i istnienie fotosyntezy na Ziemi. Ten typ prokariotów obejmuje organizmy jednokomórkowe unoszące się blisko powierzchni wody lub żyjące w wilgotnej glebie. Czasem są one, niezbyt ściśle, zaliczane do glonów. Panuje pogląd, że sinice były pierwszymi samożywymi istotami na Ziemi, a tlen wydzielany przez nie jako zbędny produkt przemiany materii był częściowo odpowiedzialny za wielką zmianę składu atmo-

sfery ziemskiej, co nastąpiło dwa miliardy lat temu.

105 Sinice wchodzą w skład grupy organizmów tworzących plankton. Przedstawiciele tej grupy charakteryzują się tym, że są unoszone biernie w toni wodnej. Do planktonu należą też bakterie, pierwotniaki oraz drobne rośliny i zwierzęta. W odróżnieniu od organizmów planktonowych te aktywnie pływające zwierzęta, które mogą przeciwstawić się prądom wody, tworzą grupę nektonu.

106 Do królestwa Protista należą organizmy jednokomórkowe, których materiał genetyczny (DNA) znajduje się w jądrze komórkowym. Dawniej część z nich zaliczano do zwierząt, wśród których stanowiły podkrólestwo pierwotniaków (Protozoa). Za ich „zwierzęcością” przemawiała dość złożona budowa, zdolność do poruszania się i cudzożywność. Wszystkie te jednokomórkowe istoty pływające, które można dostrzec, oglądając pod mikroskopem kroplę wody ze stawu, należą do królestwa Protista. Najbardziej pospolite z nich poruszają się za pomocą wici, długiego, ruchliwego wyrostka powłoki ciała. Inne poruszają się dzięki rzęskom – licznym drob-

niutkim wyrostkom, gęsto pokrywającym ciało i wykonującym zsynchronizowane ruchy wiosłowe. Przykładem tego rodzaju eukariotycznych organizmów jednokomórkowych jest pantofelek, z którym miałeś okazję zetknąć się w szkole średniej. Przedstawiciele królestwa Protista są zatem organizmami bardziej złożonymi i znajdują się na wyższym poziomie rozwoju niż organizmy prokariotyczne, tworzące królestwo Monera. Jednokomórkowe organizmy należące do Protista mają zestaw organelli, a swoją złożonością dorównują wielkim rafineriom ropy naftowej. Jeden z moich przyjaciół biologów powiedział: „Nie oszukuj się – ameba jest organizmem bardzo skomplikowanym!”

107 Organizmy należące do Protista stanowią główną część zbiorów skamieniałości. Otwornice (*Foraminifera*), przedstawiciele królestwa Protista, są jednokomórkowymi organizmami wytwarzającymi twardą skorupkę. Są bardzo małe (można je zobaczyć tylko pod mikroskopem), lecz ich skorupki zachowały się w osadach na dnie morskim. W skałach takich jak wapień pełno jest skamieniałych skorupek otwornic.

Genetyka klasyczna

108 Genetyka jest nauką, która poszukuje odpowiedzi na pytanie, w jakim stopniu i dlaczego potomstwo jest podobne do rodziców. Odkąd ludzkość odkryła związek między stosunkiem płciowym a dziećmi, jasne było także, że istnieje związek między cechami charakterystycznymi rodziców i ich potomstwa. Genetyka jest nauką, która zajmuje się badaniem, jaki to jest związek i jak cechy są przenoszone z rodziców na potomstwo.

109 Twórcą nowoczesnej genetyki był Gregor Mendel (1822–1884), czeski zakonnik. Pracując samotnie w Brnie, przeprowadził długie serie doświadczeń nad grochem, które doprowadziły go do sformułowania podstawowych praw genetyki. Dzieło uczonego, omówione poniżej, nazywane jest obecnie genetyką klasyczną lub mendelowską.

Mendel opublikował swoje odkrycia w skromnym czasopiśmie austriackim. Dopiero po śmierci uczonego praca zyskała popularność.

110 Mendel przeprowadził swoje doświadczenia na grochu. Stały się one jedną z legend nauki. Pracując w ogrodzie zakonnym, zapytał jedną grupę wybranych roślin pyłkiem pobranym od innej grupy i obserwował potomstwo. Szybko stwierdził, że pewne cechy grochu dominują nad innymi. Jeżeli na przykład wysoka roślina została skrzyżowana z niską, to wynikiem nie była roślina średnia, lecz wysoka. Jeżeli teraz to pierwsze pokolenie mieszańców krzyżowane było ze sobą wzajemnie (albo dopuszczono do samozapylenia), to jedna czwarta następnego pokolenia była niska, a reszta wysoka. Odkrycie tego rodzaju regularności doprowadziło Mendla do opracowania teorii dziedziczenia.

SŁOWNIK GENETYKI

111 Allel – jedna z możliwych odmian tego samego genu. Na przykład groch Mendla ma dwa allele wzrostu: allel wysokiego

wzrostu i allel niskiego. Termin ten odnosi się do samego genu, a nie do cechy (takiej jak wysokość).

Genotyp – zestaw wszystkich genów, jakie ma organizm (w odróżnieniu od opisu samego organizmu).

Fenotyp – opis cech charakterystycznych organizmu. Jeżeli mówimy, że groch Mendla ma gen niskiego wzrostu, to chodzi o genotyp, a gdy mówimy, że roślina jest niska, mamy na myśli fenotyp.

112 Podstawową jednostką dziedziczenia jest gen. Termin ten, który wprowadził Wilhelm Johannsen (1857–1927), oznacza coś, co przechodzi z rodziców na potomstwo. Dzięki genom jesteś wysoki lub niski, masz oczy niebieskie lub piwne itd. Dzisiaj wiemy, że gen to zestaw wielu tysięcy cząsteczek w łańcuchu DNA, lecz Mendel nic o DNA nie wiedział. Jego teoria powstała na podstawie obserwacji grządek grochu. Mógł więc ocenić działanie genów tylko badając ich wpływ na każdą kolejną generację uprawianych roślin.

113 Każde z rodziców ma dwa kompletne zestawy genów, a potomstwo otrzymuje po jednym genie dla każdej cechy od każdego z rodziców. Mechanizm przekazywania genów można przedstawić w prosty sposób. Każde z rodziców ma dwa kompletne zestawy genów i tylko jeden z tych zestawów przekazuje potomkowi. Który z dwóch genów ujawni się w pokoleniu potomnym, zależy od tego, jaką kombinację genów otrzymał potomek. Kombinacje te podlegają prawom odkrytym przez Mendla.

114 Rozróżnia się geny dominujące i recesywne. Reguły rządzące ujawnianiem się któregoś z dwu alleli, jakie spotykają się w organizmie potomnym, są już dobrze poznane. Jeżeli oba geny są takie same, na przykład dziecko otrzymuje dwa allele niebieskich oczu od obojga rodziców, to nie ma żadnych wątpliwości – oczy dziecka będą niebieskie. Co się jednak stanie, jeżeli dziecko otrzyma jeden allel niebieskich oczu i jeden piwnych? Czy mogą mieć tylko jeden kolor, więc któryś z alleli musi „zwyciężyć”. Allel, który zwycięża, jest dominujący. U człowieka

dominujący jest gen oczu piwnych, więc dziecko z naszego przykładu będzie miało oczy piwne. Allel, który „przegrał”, to allel recesywny. W grochu Mendla dominujące były allele wysokiego wzrostu, a allele niskiego wzrostu – recesywne. Sposób obliczania, jaka część potomstwa będzie miała daną cechę, jest bardzo prosty. Jeżeli jeden z alleli jest dominujący (lub oba), to u potomstwa ujawni się cecha dominująca. Cecha recesywna ujawnia się tylko wtedy, gdy oba allele potomka są recesywne. Są to tzw. obliczenia typu mendlowskiego.

Rozpatrzmy to na przykładzie grochu. Do pierwszego krzyżowania cechy niskiego wzrostu z cechą wysokiego wzrostu Mendel wybrał rodziców, z których jedno miało dwa allele dominujące wysokiego wzrostu (W/W), a drugie – dwa allele recesywne niskiego wzrostu (w/w). Każda roślina z pierwszego pokolenia mieszańców miała jeden gen wysokiego i jeden gen niskiego wzrostu (W/w), a ponieważ wysoki wzrost jest cechą dominującą, wszystkie rośliny potomne były wysokie. Kiedy rośliny z tego pokolenia zostały skrzyżowane ze sobą, to można było oczeki-

wać, że jedna część przypadnie na (W/W), po jednej na (W/w) i (w/W) i jedna na (w/w). Zgodnie z przewidywaniami Mendla to 75 procent roślin potomnych (osobniki z trzech pierwszych grup) było wysokich, a 25 procent (grupa czwarta) – niskich.

115 Możesz być nosicielem genu recesywnego i wcale o tym nie wiedzieć. Allel recesywny pozostaje w DNA potomstwa i może być z kolei przekazany następnemu pokoleniu. Na przykład dziecko, które miało jedno z rodziców z niebieskimi oczami, a drugiego – z piwnymi, samo będzie miało oczy piwne, lecz będzie nosiło w sobie allel niebieskich oczu. Cecha taka jak niebieskie oczy, która została przekazana potomkowi, lecz się nie ujawniła, nazywana jest cechą recesywną. Jeżeli więc wasz junior ma niebieskie oczy, chociaż i ty, i twój małżonek macie oczy piwne, nie jest to jeszcze powód, by doszukiwać się niewierności małżeńskiej. Sytuacja ta jest zgodna z prawami dziedziczenia Mendla. Oprócz allelu niebieskich oczu ludzie mają wiele innych alleli recesywnych. Jednym z najlepiej znanych jest gen odpowiedzialny za hemofilię. Krew człowieka cie-

riącego na hemofilię, czyli nosiciela tej cechy, nie jest zdolna do krzepnięcia i każda najmniejsza rana czy kontuzja może się stać przyczyną jego śmierci. Hemofilia wystąpiła w kilku królewskich rodach Europy, a małżeństwa wewnątrz rodów zwiększały prawdopodobieństwo, że cecha ta będzie dziedziczona przez potomstwo. Anemia sierpowata, karłowatość, choroba Tay-Sachsa są innymi przykładami chorób, za które odpowiedzialne są allele recesywne.

116 Dominujące i recesywne cechy człowieka

Recesywne	Dominujące
oczy niebieskie	oczy piwne
nierozróżnianie kolorów	rozróżnianie kolorów
łysina	owłosienie

Allel sześciu palców dominuje nad allelem pięciu palców. Jest to dziwne, ale prawdziwe.

Pytanie

Ktoś, kto nie rozróżnia kolorów, poślubia kogoś, kto je rozróżnia. Para ta ma czworo dzieci. Jaki jest

przewidywany wśród ich potomstwa udział dzieci, które nie będą rozróżniały kolorów?

Jeśli jedno z rodziców nie rozróżnia kolorów (daltonizm), to ma dwa recesywne allele tej cechy (r/r), a jeśli drugie z rodziców nie będące daltonistą ma jeden allel recesywny (R/r), to prawdopodobieństwo, że dziecko będzie daltonistą, wynosi 1/2. Nie oznacza to jednak, że połowa dzieci tej pary będzie daltonistami. Każde dziecko bowiem poczynane jest niezależnie i za każdym razem istnieje 50 procent szansy, że nie będzie daltonistą. W praktyce daltonistami mogą być wszystkie dzieci takiej pary lub żadne.

117 Praktycznym zastosowaniem genetyki mendlowskiej jest dobór sztuczny. Rolnicy i hodowcy wiedzą od dawna, że jest możliwe poprawienie cech ich inwentarza poprzez dobór sztuczny. Na przykład, jeśli twoim celem jest posiadanie stada, które szybko rośnie i produkuje dużo mięsa, to pozwalasz na zapłodnienie tylko samcom, które te cechy mają. W ten sposób geny rządzące szybkim wzrostem i produkcją mięsną będą, zgodnie z prawami Mendla, przekazane następnym pokoleniom.

To praktyczne zastosowanie genetyki mendelowskiej wyjaśnia dwie kwestie, które wielu ludziom wydają się dziwne: 1) dlaczego byk może kosztować miliony dolarów; 2) w jaki sposób w ogóle mogły powstać takie kłose mięsa na czterech krótkich nogach, jak zwierzęta rasy Black Angus.

118 Dobór sztuczny był dla Darwina źródłem inspiracji. Cały pierwszy rozdział dzieła *O powstawaniu gatunków drogą doboru naturalnego* Darwin poświęcił na omówienie doboru sztucznego. Przedstawił następujące argumenty. Jeżeli ludzie mogą spowodować tak duże zmiany w organizmach jedynie przez dobór osobników przeznaczonych

do płodzenia potomstwa, to w odpowiednio długim czasie natura powinna być zdolna do tego samego poprzez dobór naturalny. Darwin nie znalazł pracy Mendla i nieświadomie użył w swojej argumentacji genetyki mendelowskiej.

119 „Zielona rewolucja” jest przykładem współczesnego zastosowania genetyki Mendla. W latach sześćdziesiątych zagrożenie głodem stało się realne dla rosnącej populacji ludzkiej, zwłaszcza w Trzecim Świecie. Specjalistom od uprawy roślin udało się jednak wyhodować nowe, dające wyższe plony, odmiany ryżu i innych zbóż. Nadchodzącą katastrofę oddaliła zwiększona produkcja żywności na obszarach już objętych uprawami.

Klasyfikacja istot żywych

120 Wielkim historycznym zadaniem biologii było uporządkowanie i klasyfikacja istot żywych. Jeżeli chcesz zrozumieć niebywale złożony i zmieniający świat organizmów na naszej

planecie, to najpierw musisz znaleźć jakiś sposób uporządkowania ich, zdecydowania, które istoty są spokrewnione ze sobą, a które nie. Przykładowe pytanie, jakie możesz sobie zadać, brzmi:

„Czy człowiek jest bardziej podobny do sosny, czy do ryby?” Zasady współczesnego systemu klasyfikacji zawdzięczamy szwedzkiemu uczonemu Karolowi Linneuszowi (1707–1778). Jego system uporządkowania istot żywych przypomina nieco podanie adresu domu przez kolejne wymienienie: kraju, województwa, miasta, dzielnicy miasta, ulicy i numeru domu. W ten sam sposób klasyfikowane są istoty żywe przez umieszczanie ich w coraz węższych kategoriach.

121 Świat nie dzieli się już na „zwierzęta, rośliny i minerały”. Od ustalenia tego zaczęła się zawsze stara gra w dwadzieścia pytań. Wynikało to z przekonania, że wszystko jest albo żywe (rośliny i zwierzęta), albo nieożywione (minerał). W tego rodzaju klasyfikacji istoty żywe były podzielone na dwa królestwa: rośliny i zwierzęta. Obecnie biolodzy wyróżniają pięć różnych królestw. Do tradycyjnych królestw roślin i zwierząt dolicza się jeszcze trzy inne: Monera (jednokomórkowe organizmy bez jąder komórkowych, czyli prokarioty), Protista (jednokomórkowe organizmy posiadające jądra komórkowe) i grzy-

by (takie jak pleśnie i grzyby kapeluszowe).

Wskazanie królestwa, do którego należy dany organizm, odpowiada nazwie kraju w adresie.

122 Królestwa w przybliżeniu odpowiadają trzem poziomom życia. Monera i Protista są organizmami jednokomórkowymi, przy czym Monera (prokarioty) to organizmy najbardziej prymitywne. Do trzech pozostałych królestw należą organizmy wielokomórkowe. Każde z tych królestw: grzyby, rośliny i zwierzęta, stosuje inną strategię walki o byt. Grzyby pobierają z otoczenia potrzebne im substancje organiczne, rozkładając szczątki roślinne i zwierzęce. Rośliny same produkują substancje odżywcze za pomocą fotosyntezy, a zwierzęta zdobywają pożywienie, zjadając rośliny, grzyby i siebie nawzajem.

123 Wirusy nie pasują do tego systemu klasyfikacji. Wszystkie istoty żywe mieszczące się w pięciu królestwach są zbudowane z komórek. Wirusy nie mają budowy komórkowej, zawierają tylko kwasy nukleinowe i białko. Czy są żywe? Trudno

powiedzieć. Jest to zapewne wyłącznie kwestia semantyki.

124 Każde królestwo podzielone jest na typy. W skład królestwa zwierząt wchodzi mnóstwo typów, jak płazińce, obleńce, mięczaki, stawonogi, strunowce i wiele innych. Najlepiej nam znane zwierzęta należą do typu strunowców, czyli zwierząt ze struną grzbietową, i do podtypu kręgowców, czyli zwierząt mających kręgosłup. Także królestwo roślin dzieli się na kilka typów, jak na przykład mszaki, paprotniki, rośliny nagozalążkowe i okrytozalążkowe.

Określenie, do jakiego typu i podtypu należy dany organizm, odpowiada w przybliżeniu podaniu w adresie nazwy województwa.

125 Kręgowce, chociaż najlepiej znane, wcale nie są najliczniejsze. Ponieważ jesteśmy kręgowcami, nasz podtyp wydaje się nam potężniejszy, niż jest w rzeczywistości. Większość zwierząt na świecie to wcale nie kręgowce. Istnieje na przykład o wiele więcej chrząszczy niż ssaków. Starając się w tej kwestii trafić do przekonania moim stu-

dentom, pokazuję im wspaniałą książkę *Pięć królestw*, napisaną przez Lynn Margulis i Karlene V. Schwartz. Zawiera ona opisy wszystkich typów we wszystkich królestwach. Liczy sobie 374 strony i tylko cztery z nich poświęcone są strunowcom.

126 Typy dzielą się na gromady, rzędy i rodziny. Na przykład kręgowce są podzielone na takie gromady, jak krąglouste, ryby, płazy, gady, ptaki i ssaki. Gromada ssaków dzieli się następnie na kilka rzędów, na przykład naczelne, gryznie, drapieżne, walenie (wieloryby, morświny). Rząd naczelnych dzieli się z kolei na rodziny, jak lemurowate, małpy wąskonosy, małpy człekokształtne, człowiekowate.

127 Nazwy organizmów składają się z nazwy rodzaju i określenia gatunku. Ostatnie piętra podziału w systemie klasyfikacji Linneusza to rodzaj i gatunek. Odpowiadają one w adresie nazwie ulicy i numerowi domu. Organizmy należące do tego samego rodzaju są podobne do siebie, lecz na ogół nie mogą się ze sobą krzyżować. Na przykład niedźwiedź polarny (*Ursus mari-*

timus) i grizzly (*Ursus horribilis*) należą w rodzinie niedźwiedzi do tego samego rodzaju, ale nie do tego samego gatunku. Te organizmy, które mogą mieć ze sobą płodne potomstwo, należą w ogromnej większości przypadków do jednego gatunku.

Nazwy nadawane organizmom przez biologów są dwuczęściowe. Pierwszy człon określa rodzaj, a drugi przynależność gatunkową. W tak utworzonej nazwie jest zawarty element klasyfikacji. W bliskim nam przykładzie nazwy gatunkowej – *Homo sapiens* (człowiek rozumny) – pierwszy człon jest nazwą rodzaju, a drugi gatunku.

128 Zdolność do krzyżowania się nie zawsze może być testem przynależności do tego samego gatunku. Podobnie jak większość reguł w biologii ta także nie zawsze obowiązuje. Wilk (*Canis lupus*) może mieć potomstwo ze zwykłym psem (*Canis familiaris*), mimo że należą do odrębnych gatunków.

129 Człowiek jest jedynym żyjącym przedstawicielem swego rodzaju. W systemie klasyfikacji zajmuje następujące miejsce:

królestwo – zwierzęta
typ – strunowce
podtyp – kręgowce
gromada – ssaki
rząd – naczelne
rodzina – człowiekowate
rodzaj – człowiek
gatunek – człowiek rozumny

130 Podstawą tradycyjnych systemów klasyfikacji są podobieństwa anatomiczne. W miarę jak schodzimy z drabiny od królestwa aż do gatunku, spotykamy organizmy grupowane według kryteriów coraz bardziej szczegółowych. Na przykład człowiek zalicza się do królestwa zwierząt, ponieważ jest zbudowany z wielu komórek (zawierających jądro) i spożywa pokarm. Jesteśmy kręgowcami, bo mamy kręgosłup ochraniający rdzeń kręgowy. Należymy do ssaków, mamy bowiem włosy i nasze małe ssą mleko matek. Jesteśmy naczelnymi, gdyż mamy, jak małpy, kciuk przeciwstawny pozostałym palcom, duży mózg, oczy z przodu głowy i paznokcie zamiast pazurów. Kiedy trzeba rodzinę człowiekowatych wyróżnić spośród wszystkich naczelnych, należy zastosować jeszcze bardziej precyzyjne kryteria. Przedstawiciele człowiekowatych (poczynając od australopiteka) cechuje na przykład postawa wyprostowa-

na. (Małpy człekokształtne, takie jak goryl, chodzą, podpierając się przednimi kończynami). Oznacza to, że ciężar czaszki hominida spoczywa na kręgosłupie i do zrównoważenia ciężaru głowy nie jest konieczna tak duża liczba mięśni jak u małp. Człowiekowate nie mają zatem z tyłu czaszki przyczepów dla tak masywnych mięśni, jakie mają małpy człekokształtne. Fakt ten jest między innymi wykorzystywany do odróżniania ich od małp. Człowiek różni się od innych (wymarłych) hominidów wieloma jeszcze drobniejszymi szczegółami, jak na przykład płaska twarz czy większe zatoki dookoła oczu.

131 Do klasyfikacji są włączane także organizmy wymarłe, pod warunkiem, że skamieniałości dostarczyły dostatecznie dużo informacji o ich anatomii. Z tego powodu mówimy, że dinozaury były gadami, a australopitek należał do człowiekowatych, mimo że żadnego z nich nie ma już na świecie.

132 Systematycy zastąpili sztuczną klasyfikację Linneusza systemami opartymi na ewolucyjnym pokrewieństwie organizmów. System Linneusza był

w zasadzie statyczny – organizmy pogrupowano w nim według aktualnych zewnętrznych podobieństw. Zamiast tego za podstawę podziału można przyjąć historie ewolucyjne i grupować razem te organizmy, które pochodzą od wspólnych przodków. W tym przypadku dwa organizmy są uważane za bliskie sobie, gdy dzieli je tylko kilka gałęzi na drzewie genealogicznym, a dalekie – gdy tych gałęzi jest dużo. Takie podejście jest nazywane kladystycznym.

Drugą propozycją jest klasyfikacja organizmów według tego, jak dawno oddzieliły się od ich wspólnego przodka i jak dalece odbiegły od niego w ciągu tego czasu. Takie podejście nazywamy filogenetycznym. Zarówno kladystyka, jak i filogenetyka koncentrują się bardziej na tym, jak organizmy ewoluowały do ich obecnej postaci, niż na opisie stanu teraźniejszego.

133 Definicja gatunku wciąż jest przedmiotem kontrowersji w biologii. Według klasycznej definicji dwa organizmy należą do tego samego gatunku, jeżeli mogą się ze sobą krzyżować. Niestety, nie zawsze sprawdza się ona w praktyce.

Co nowego?

134 W niedalekiej przyszłości pokrewieństwo między organizmami będzie, być może, mierzone podobieństwem DNA. Jednym ze sposobów ustalenia stopnia pokrewieństwa między organizmami jest zbadanie, jaka część kodu genetycznego jest identyczna u obu organizmów.

Stopień pokrewieństwa można zmierzyć także inaczej. Od DNA zależą sekwencje aminokwasów w białkach produkowanych przez komórki. Miarą stopnia pokrewieństwa jest liczba identycznych białek w obu organizmach. W tej chwili uczeni mogą sobie tylko pomarzyć o obu tych molekularnych metodach, ponieważ są one czasochłonne i uciążliwe, niemniej w kilku przypadkach zostały już zastosowane. Wprowadzenie tych metod do pracy nad zastąpieniem systemu klasyfikacji opartego na cechach anatomicznych wydaje się już tylko kwestią czasu. [Już się je stosuje do określania pokrewieństw

w obrębie wielu grup organizmów (przyj. red. nauk.).]

135 Pojedynczy człowiek ma 99,8 procent DNA wspólnego z innymi ludźmi, a „tylko” 98,4 z szympansem; 98,3 procent człowieka i goryla jest wspólne.

Nagroda „Guzika od kamizelki” za zidentyfikowanie gatunku na podstawie najmniejszego fragmentu osobnika. Istnieje stare określenie kogoś, kto pochopnie wyciąga wniośki. Mówi się: „Doszył do guzika całą kamizelkę”. W duchu tego powiedzenia przyznajemy nagrodę „Guzika od kamizelki” kanadyjskiemu paleontologowi Davidsonowi Blackowi, który w 1927 r. opisał nie tylko nowy gatunek człowieka, lecz cały nowy rodzaj (człowiek pekiński, czyli *Sinanthropus pekinensis*) na podstawie tylko jednego zęba.

Rośliny

136 Jeżeli prześledzi się do- wolny łańcuch pokarmo- wy dostatecznie daleko wstecz, zawsze dojdzie się do roślin. Rośli- ny dostarczają energii wszystkim pozostałym organizmom na Zie- mi. Nasza planeta otrzymuje ene- rgie od Słońca w formie promie- niowania. Część tej energii absor- bują rośliny i za pomocą chemicz- nej reakcji fotosyntezy magazy- nują ją w postaci glukozy, która jest potem przetwarzana na inne cukry i tłuszcze. Zwierzęta roś- linożerne utrzymują się przy ży- ciu, żywiąc się roślinami, a same są zjadane przez zwierzęta mięso- żerne. W tych procesach energia przepływa w górę łańcucha po- karmowego.

137 Rośliny stanowią najwię- kszą część masy materii ożywionej. Często nie zauważamy otaczających nas roślin – trawy na trawnikach, mchu na kamie- niach, glonów w stawach, a tym- czasem rośliny stanowią główną część masy materii ożywionej na naszej planecie – według większo- ści oszacowań przynajmniej 90 procent tej masy.

Rodzaje roślin

138 50 do 90 procent fotosyn- tezy na Ziemi jest dzie- lem glonów. Są to najprostsze rośliny i tworzą wiele grup, po- cząwszy od organizmów jedno- komórkowych unoszących się w wodzie do dużych organizmów o budowie złożonej, jak na przy- kład brunatnice. [Wszystkie eu- kariotyczne organizmy jednoko- mórkowe tworzą obecnie osobne królestwo Protista – nie są więc roślinami (zob. notki 121 i 122; przyp. red. nauk.)].

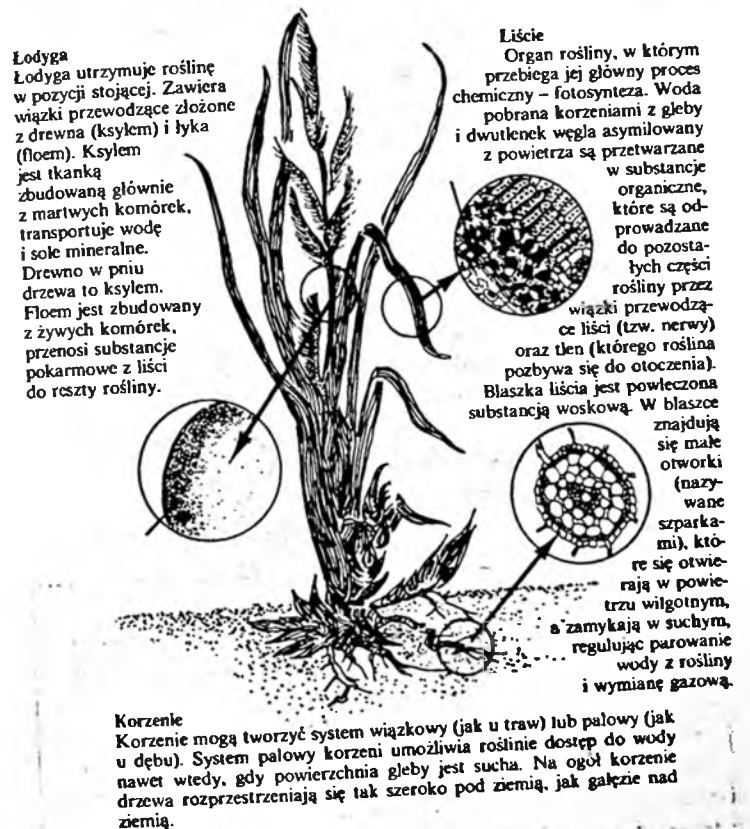
139 Rośliny wielokomórkowe żyjące na lądzie mają układ przewodzący, w którym pły- ny przemieszczają się wewnątrz rośliny. Takiego układu nie ma- ją ich przodkowie, którzy żyli w morzu.

140 Większość znanych nam roślin to naczyniowe. Prawie wszystkie znane rośliny (trawy, zioła, drzewa itp.) mają wewnętrzny układ przewodzący. Służy on dwóm celom: rozprowa- dza substancje odżywcze we-

wnątrz rośliny i nadaje jej sztyw- ność, dzięki której roślina zacho- wuje pozycję pionową. Rośliny naczyniowe mają też liście. Dzielą się na paprotniki i rośliny nasien- ne. Najprostszymi roślinami na- czyniowymi są paprotniki. Mają

liście i układ przewodzący, lecz rozmnażają się za pomocą zarod- ników, a nie nasion. Paprotniki należały niegdyś do dominują- cych roślin na Ziemi, teraz, w ekosystemie światowym, od- grywają niewielką rolę.

ROŚLINA NACZYNIOWA



141 Rośliny najwyższej uorganizowane rozmnażają się za pomocą nasion. Wyróżnia się dwa typy roślin nasiennych: nagozalążkowe (nagonasienne) i okrytozalążkowe (okrytonasienne). Najbardziej rozpowszechnionymi roślinami nagozalążkowymi są zimozielone sosny i jodły. Do nagozalążkowych należą także najwyższe i największe drzewa na świecie – sekwoje. Rośliny nagozalążkowe są podstawowym surowcem przemysłu drzewnego i papierniczego.

Rośliny okrytozalążkowe są najbardziej skomplikowane, a jednocześnie najlepiej je znamy. Nasiona ich zamknięte są w owocach powstałych z zalążni. Często owoce są przystosowane do zapewnienia nasionom możliwie najszerszego rozprzestrzenienia się. Większość roślin uprawnych to

okrytozalążkowe, podobnie jak roślin ozdobnych i drzew o twardej drewnie.

142 Rośliny okrytozalążkowe dzielą się na dwie klasy. Pierwsza klasa to rośliny jednoliścienne, m.in. trawy, lilie, storczyki i palmy. Oprócz innych swoistych cech mają liście o unerwieniu równoległym i wiązki przewodzące rozproszone nieregularnie wewnątrz łodygi (a nie zebrane w pobliżu powierzchni).

Drużga klasa to rośliny dwuliścienne. Należą do nich: drzewa, krzewy, większość roślin zielnych i na przykład winorośl. Wszystkie ich wiązki przewodzące tworzą regularny pierścień w pobliżu powierzchni łodygi. Dlatego można „zabić” drzewo, robiąc wokół pnia ciągłą rysę o głębokości sięgającej drewna.

Ewolucja roślin

PRZEBIEG EWOLUCJI ROŚLIN

143 Data odpowiada czasowi, w jakim nastąpiłoby dane wydarzenie, gdyby całą historię Ziemi zmieścić w jednym roku.

Czas (w mln lat)	Wydarzenie	Data
3600	Pierwsze glony	21 marca
433	Pojawiają się rośliny lądowe	27 listopada
400	Paprocie i nagozalążkowe	30 listopada
300	Tworzą się złoża węgla	8 grudnia
65	Pojawiają się rośliny okrytozalążkowe	26 grudnia

144 Rośliny pojawiły się na Ziemi ponad 3 miliardy lat temu. Na podstawie znalezisk paleontologicznych stwierdzono, że sinice występowały obficie w ziemskich oceanach 3,6 miliarda lat temu. Prawdopodobnie nie bardzo się różniły od prostych glonów żyjących obecnie. Niektórzy uczeni sądzą, że bryofity (jak mchy) i rośliny naczyniowe (jak paprocie i rośliny nasienne) rozwinęły się z pierwotnych glonów oddzielnie i w różnym czasie. [Ale glony, z których rozwinęły się rośliny wyższe, należały do eukariontów, a sinice to prokaryoty – różnica między tymi grupami organizmów jest ogromna (zob. notka 97; przyp. red. nauk.).]

145 Pojawienie się roślin okrytozalążkowych jest wielką tajemnicą ewolucji roślin. Na podstawie skamieniałości wiemy, że pojawiły się one około 65 milionów lat temu, lecz nie- zbyt dobrze wiemy, jacy byli ich przodkowie i jak powstały.

146 Sok płynie i w ksylemie (drewnie), i we floemie (łyku). Termin „sok” oznacza płyn, który wypływa, kiedy roślina jest ścięta lub uszkodzona.

Odnosi się on zarówno do płynu w drewnie, jak i płynu w łyku. Pierwszy płyn zawiera rozpuszczone w wodzie sole mineralne, drugi – organiczne produkty fotosyntezy.

Pytanie

Kiedy nacinamy klon w celu uzyskania syropu, czy jest nam potrzebny sok z drewna, czy z łyka? Odpowiedź: Z łyka. Po odparowaniu wody pozostanie stężony roztwór cukrów.

147 W przeciwieństwie do zwierząt, których ciało rośnie mniej więcej równomiernie, rośliny rosną tylko w pewnych miejscach. Te tkanki, w których zachodzi szybki podział komórek, nazwane zostały merystematami. Typowe merystemy w roślinie to: wierzchołek korzenia, wierzchołek pędu i pączki na łodydze, z których wyrastają liście i pędy boczne.

148 Bulwa ziemniaka jest zmodyfikowaną łodygą, a nie korzeniem. Tak zwane oczka są pączkami bocznymi. Kiedy więc ziemniak

kielkuje, robi to samo co drzewo wypuszczające nową gałąź.

149 Pień drzewa przyrasta na grubość tuż pod korą. Obszar podziału komórek w pniu drzewa nazywamy kambium (miazgą). Jest to warstwa tkanki twórczej, otaczającej pień tuż pod korą. W miazdze powstają nowe komórki drewna i łyka, poszerzając pień na zewnątrz i pozostawiając martwe, starsze komórki w środku pnia. Kiedy drzewo osiąga odpowiedni wiek, drewno wewnątrz pnia ulega przeobrażeniu, tworząc tzw. twarżdziel. Nie bierze ona udziału w transporcie. Drewno takie jest wysoko cenione z powodu jego odporności na termity i butwienie. Część pnia, w której naczynia transportują płyny, jest nazywana białem.

150 Wiek drzewa można określić, licząc tzw. słoje przyrostu rocznego. Wiosną miazga wytwarza naczynia duże i cienkościenne. Później, kiedy wody jest już mniej, naczynia stają się mniejsze i mają grubsze ścianki. Z tego powodu letni przyrost jest ciemniejszy. Występujące na przemian na przekroju pnia podwójne warstewki jasno-ciemne są nazywane słojami drewna.

Pytanie

Dlaczego drzewa tropikalne nie mają słoików? Odpowiedź: Brak pół roku.

151 Stan spoczynku jest mechanizmem umożliwiającym roślinom przetrwanie (nawet rośliny wiecznie zielone znajdują się zimą w stanie zahamowanego metabolizmu). Niższy poziom oświetlenia spowalnia fotosyntezę. Opadanie liści zmniejsza utratę wody.

Nawet podczas stanu spoczynku silny mróz może wyrządzić krzywdę drzewu. Jeżeli woda w pniu zamarznie, to się rozszerzy i spowoduje rozsądzenie pnia. Głośny trzask, jaki temu towarzyszy, przypomina strzał karabinowy. Każdy, kto go usłyszał, nie zapomni tego dźwięku do końca życia.

152 Jedno zgnile jabłko może zepsuć wszystkie. O dojrzewaniu owoców i opadaniu liści decyduje prosty związek chemiczny wytwarzany przez roślinę. Na przykład kiedy nocą stają się dłuższe, korzenie drzewa przestają produkować związki chemiczne należące do cytokinin, liście zaczynają się starzeć, umierają

i wreszcie spadają, zaścieniając je sienią ziemi.

Istnieje jeszcze jeden związek chemiczny przyspieszający opadanie liści i dojrzewanie owoców. Został odkryty pod koniec XIX w., kiedy zaobserwowano, że drzewa w pobliżu lamp gazowych tracą liście wcześniej niż pozostałe. Dzisiaj pomidory często zrywa się, gdy są jeszcze zielone. Nadmuch etylenu powoduje ich zacerwienie i odjazd do supermarketu. Oto dlaczego zimowe pomidory mają inny smak niż te z twojego ogrodu.

Gnijące jabłko wydziela etylen. Jego działanie powoduje szybkie dojrzewanie i gnienie pozostałych jabłek w koszu. Okazało się, że ludowa mądrość ma swoje chemiczne uzasadnienie.

153 Liście są zielone, ponieważ zawierają chlorofil. Kiedy zamierają, chlorofil zanika i ujawniają się inne kolory związane z barwnikami, które były w liściu cały czas, lecz maskował je chlorofil.

Ekosystemy

154 Ekosystem to wszystkie rośliny i zwierzęta na danym obszarze wraz z całym środowiskiem, w którym żyją. Nauka poświęcona badaniu ekosystemów nazwana została ekologią.

155 W ekosystemach krąży materia i przepływa przez nie energia. W mniejszych ekosystemach (jak jezioro) krążące w nich pierwiastki często przekraczają (w obie strony) granice ekosystemu. Ekosystem nie wy-

mieniający materii i energii z otoczeniem jest nazywany ekosystemem zamkniętym. Jeżeli taka wymiana zachodzi, to ekosystem jest otwarty. Ekosystem ziemski całą swą energię otrzymuje od Słońca. Część tej energii jest wykorzystywana w procesie fotosyntezy, a część ogrzewa planetę i jest następnie wypromieniowana w przestrzeń w postaci promieniowania podczerwonego. Tak więc część energii nie pozostaje na Ziemi, lecz przepływa

przez nią w drodze do najdalszych przestworzy. W obrębie ekosystemów ziemskich wchodzi z nimi w rozmaite interakcje.

156 Węgiel krąży w ekosystemie Ziemi. Związkiem, który stanowi źródło węgla dla roślin, jest dwutlenek węgla. Rośliny pobierają go z atmosfery i w procesie fotosyntezy przetwarzają w struktury swoich komórek. Zwierzęta zjadają rośliny lub inne zwierzęta roślinożerne i w ten sposób węgiel trafia do ciał zwierząt. Oddychając organizmy zwracają część węgla do atmosfery w postaci dwutlenku węgla. W ten sposób zamyka się jedna pętla obiegu. Kiedy roślina nie zostanie zjedzona, to aż do jej śmierci węgiel znajduje się w jej komórkach. Po śmierci rośliny węgiel ten może zostać na długo wyłączony z obiegu, gdy ulegnie zmagazynowaniu w postaci złóż paliw kopalnych – węgla kamiennego, brunatnego i ropy naftowej. Martwa roślina może być rozłożona przez bakterie. W tym przypadku węgiel także zostanie zwrócony do atmosfery jako dwutlenek węgla. W podobny sposób węgiel wraca do atmosfery po śmierci zwierząt. Ogromna ilość dwutlenku węgla jest roz-

puszczona w głębokich wodach oceanów. W oceanach znajduje się o wiele więcej węgla niż w atmosferze.

Jeżeli paliwa kopalne zostaną wydobyte ze złóż na powierzchni i spalone (np. w elektrowniach lub silnikach samochodów), to zawarty w nich węgiel powróci do atmosfery.

157 Azot także krąży w przyrodzie. Znajduje się w atmosferze w ogromnych ilościach, lecz jest to azot cząsteczkowy i większość organizmów nie może go bezpośrednio wykorzystać. Azot przedostaje się do istot żywych za pośrednictwem bakterii, które wiążą azot atmosferyczny. Kiedy stanie się on już składnikiem komórek roślin, wraz z nimi przechodzi do organizmów zwierząt roślinożernych. Azot jest zwracany glebie w odchodach zwierząt i szczątkach obumarłych roślin, a bakterie uwalniają go z gleby z powrotem do atmosfery. Wielkie ilości azotu, podobnie jak dwutlenku węgla, są rozpuszczone w wodach oceanów i w ten sposób zmagazynowane.

158 Tak naprawdę niczego nie można się pozbyć, ponieważ wszystkie materiały

w światowym ekosystemie podlegają stałemu obiegowi. Niezależnie od tego, jak głęboko coś zostało zakopane lub jak głęboko zatopione w oceanie, nadal pozostaje to w ekosystemie Ziemi i kiedyś się uwolni – być może ze szkodą dla nas. Jest to jedna z wielkich prawd, która rodzi pytania na temat skażeń środowiska.

159 Energia przepływa w górę łańcucha pokarmowego. W każdym ekosystemie łańcuch pokarmowy wytycza zależności pokarmowe między różnymi organizmami, ujawnia, kto kogo zjada i przez kogo sam jest zjadany. Na najniższym poziomie w łańcuchu pokarmowym są rośliny wykorzystujące bezpośrednio światło Słońca do syntetyzowania materii organicznej ze składników nieorganicznych. Rośliny możemy nazwać pierwszym poziomem troficznym. Poziom troficzny jest to grupa organizmów otrzymujących energię w ten sam sposób.

Zwierzęta żywiące się roślinami (roślinożercy) tworzą drugi poziom troficzny. Jest oczywiste, że zwierzęta roślinożerne nie zużywają całej energii nagromadzo-

nej przez rośliny. Większość roślin umiera śmiercią naturalną. Nie zostają zjedzone ani przez królika, ani przez jego krewnych. Zwierzęta roślinożerne są zazwyczaj zdolne do wykorzystania tylko 10 procent energii dostępnej na pierwszym poziomie troficznym.

Na trzecim poziomie troficznym znajdują się zwierzęta mięsożerne, tzw. drapieżcy I rzędu (np. wilki), zjadające zwierzęta roślinożerne, a na czwartym drapieżcy II rzędu (jak drapieżne walenie) zjadający zwierzęta mięsożerne. Wreszcie na końcu łańcucha pokarmowego znajdują się zwierzęta (np. sępy i część owadów), które odżywiają się martwymi roślinami i zwierzętami.

160 Człowiek, niedźwiedź grizzly i inne zwierzęta wszystkożerne korzystają z pokarmu znajdującego się na wszystkich poziomach troficznych. Prawdopodobnie najbardziej wydajnie ze wszystkich zwierząt zużywają one energię docierającą do nich poprzez łańcuch pokarmowy.

161 Każdy poziom troficzny pobiera energię z poziomu niższego, zużywając około 90 procent pobranej energii na zaspokojenie własnych potrzeb. Gdy już to zrozumiesz, łatwiej ci będzie pojąć kilka faktów dotyczących cen żywności. Jeżeli, przechodząc na wyższy poziom troficzny, musisz dzielić energię przez 10, to zapłacisz za to dziesięć razy drożej. Na przykład wołowina kosztuje prawie dziesięć razy drożej niż taka sama wagowo ilość ziarna, ponieważ zwierzę przerabia na swoje mięso tylko 10 procent energii pobieranej z pokarmem, reszta energii jest zużywana na czynności życiowe zwierzęcia.

162 Koncentracja skażeń rośnie w miarę przechodzenia wzdłuż łańcucha pokarmowego. W miarę jak energia przepływa do coraz to wyższych ogniw łańcucha, koncentracji ulegają także skażenia, które trafiły do obiegu. Jest to przyczyną zaniepokojenia ekologów i instytucji zajmujących się ochroną środowiska.

Pytanie

Dlaczego nie żyjemy się lwami?
Odpowiedź: Lwy są drapieżnikami na trzecim poziomie troficznym, więc, pomijając koszty transportu morskiego, mięso lwa powinno kosztować około dziesięciu razy drożej niż wołowina – o wiele za drogo dla każdego, oprócz najbardziej wyrafinowanych smakoszy. [Jest to osobiste zdanie autora (przyp. red. nauk).]

Populacje

163 Populacja rośnie wykładniczo dopóty, dopóki jej rozwój nie zostanie zahamowany. Ze wzrostem wykładniczym mamy do czynienia, kiedy liczba potomstwa w każdym pokoleniu jest proporcjonalna do liczby osobników w poprzednim pokoleniu. Kiedy na przykład każdy osobnik w populacji wyda na świat dwa osobniki potomne, które przeżyją do dojrzałości, to populacja będzie rosła wykładniczo.

164 Najważniejszą wielkością związaną z wykładniczym wzrostem liczebności populacji jest czas podwajania. Przybliżony wzór na obliczanie czasu podwajania jest następujący:

$$\text{czas podwajania} = \frac{70}{\text{procent rocznego wzrostu}}$$

Tak więc populacja, której przyrost roczny wynosi 10 procent, podwoi się po siedmiu latach.

Pytanie

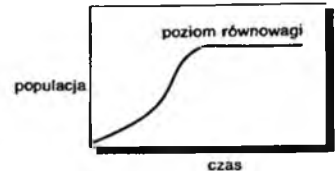
Jeżeli inflacja wynosi 5 procent rocznie, po ilu latach twój dolar będzie wart połowę swej obecnej wartości?

Odpowiedź: $70 : 5 = 14$

Po czternastu latach kupisz za dolara tyle, ile teraz za 50 centów.

165 Wzrost wykładniczy nie może trwać w nieskończoność. Prędzej czy później musi nastąpić jego zahamowanie. W naturze populacje rosną wykładniczo dopóty, dopóki nie wyczerpie się pokarm lub nie nastąpi regulacja liczebności populacji przez drapieżniki. W tym ostatnim przypadku liczebność populacji osiąga równowagę. Typowa

krzywa wzrostu populacji jest pokazana na poniższym rysunku.



Wzrost populacji jest początkowo wykładniczy, a potem, kiedy zostanie osiągnięta pojemność środowiska, liczebność populacji się ustala.

Jedną z cech charakterystycznych populacji ludzkiej, bardzo niepokojącą demografów, jest trzydziestoletni czas podwajania. Jeżeli nie zostaną podjęte działania zmierzające do zmniejszenia liczby urodzeń, to w 2020 r. liczba ludności na świecie podwoi się.

166 Nawet najobfitsza baza żywnościowa zostanie kiedyś wyczerpana przez populację, która kontynuuje wzrost. Ekolodzy określają terminem „pojemność środowiska” liczbę organizmów, które mogą utrzymać się przy życiu w danym ekosystemie. Kiedy populacja osiągnie pojemność środowiska, jej liczebność utrzymuje się na stałym poziomie.

167 Liczebność populacji jednych gatunków może być ograniczana przez inne gatunki.

Jeśli na danym obszarze żyje więcej niż jeden gatunek organizmów, to mogą zachodzić między nimi różne relacje. Mogą ze sobą konkurować, pożerać się lub w jakiś sposób zyskiwać wzajemnie na swjej obecności. Przykładem oddziaływania pierwszego typu mogą być dwa gatunki antylop eksploatujące tę samą równinę. Konkuruja one ze sobą, ponieważ trawa zjedzona przez jedno nie może być zjedzona przez pozostałe. Zależność drugiego typu występuje między królikami i kojotami na tym samym obszarze. Gdyby nie kojoty, populacja królików wzrosłaby nadmiernie, lecz z drugiej strony kojoty także nie mogą żyć bez królików. W ten sposób każda populacja reguluje wzrost drugiej. Związki wzajemnie korzystne występują w przyrodzie bardzo rzadko. Jednym z przykładów są rośliny kwiatowe i pszczoły.

168 Jeżeli z ekosystemu są usuwani drapieżcy, to na ogół liczebność gatunków stanowiących ich pożywienie wzrasta

bez ograniczeń, aż do osiągnięcia pojemności środowiska, a wtedy nadchodzi głód. Liczebność drapieżników także nie może nadmiernie wzrosnąć, ponieważ doprowadzi to do wytępienia gatunków stanowiących ich pożywienie i w końcu liczba drapieżników również zmaleje.

W USA zaobserwowano wiele przykładów eksplozji populacji zwierzyny płowej, a także rozprzestrzeniania się wśród nich głodu i chorób. Do eksplozji dochodziło, kiedy wprowadzano ograniczenia polowań na te zwierzęta przez ludzi. W wielu przypadkach ludzie-myśliwi zastępowali drapieżniki, które wyginęły jak szary wilk amerykański i puma. Chociaż nie jestem zawołanym myśliwym, jednak doceniam rolę, jaką odgrywają myśliwi w kontrolowaniu liczebności gatunków zwierząt dziko żyjących w Ameryce. Czasami zapominamy, że my także jesteśmy częścią przyrody. [Rodzi się tu pytanie, co się takiego przydarzyło drapieżnikom, że musimy je teraz wyręczać „w trosce o przyrodę” (przyp. red. nauk.)].

2

Ewolucja

Ewolucja

169 Życie na Ziemi rozwinęło się w drodze ewolucji. Twierdzenie to dotyczy wszystkich istot, począwszy od bakterii po sosny i żyrafy. Idea ewolucji życia tworzy ramy, wewnątrz których są zorganizowane nauki biologiczne. Przedstawiciele wszystkich dziedzin wiedzy podzielają przekonanie o ewolucyjnym rozwoju życia. Jest zatem możliwe, że specjalista badający ekosystem dużego jeziora będzie mówił tym samym językiem co jego kolega zajmujący się sekwencją par zasad wzdłuż pewnego odcinka DNA, choć może się wydawać, że nie mają oni ze sobą nic wspólnego. Nie można zrozumieć współczesnej biologii bez zrozumienia ewolucji.

170 Głównym mechanizmem ewolucji jest dobór naturalny. Mechanizm ten działa następująco. W danej populacji cały czas występują różne cechy, pewne żyrafy mają dłuższe szyje niż inne, niektórzy ludzie biegają szybciej niż pozostali itp. Jeżeli któraś z tych cech daje osobnikom większe możliwości przeżycia wystarczająco długo, by wydać na świat potomstwo, to cecha ta

z większym prawdopodobieństwem przejdzie na następne pokolenie. Na przykład, jeżeli posiadanie dłuższej szyi umożliwi żyrafie żywienie się liśćmi, do których inne nie mogą sięgnąć, to prawdopodobieństwo, że żyrafa długoszyja przeżyje suszę, jest duże. Pokolenie potomne będzie przypominać rodziców i mieć szyje dłuższe niż inne żyrafy. Jeżeli długie szyje nadal będą zapewniały przewagę, to po długim czasie żyrafy z dłuższymi szyjami mogą się stać odmianą dominującą w populacji. W ten sposób cecha umożliwiająca pojedynczemu osobnikowi lepsze wykorzystanie otoczenia staje się wspólną cechą wszystkich osobników tego gatunku. Jest to sedno idei doboru naturalnego.

171 Ewolucja trwa nadal. Ewolucja życia nie jest procesem, który odbywał się dawno temu i już się zakończył. Istoty żyjące dzisiaj nadal przystosowują się do otoczenia. Najbardziej słynnym tego przykładem jest historia pewnej odmiany ciem, która żyła w środkowej Anglii. Pierwotnie ćmy te były białe, brązowo cętkowane, co

umożliwiało im wtopienie się w tło pni brzoź stanowiących ich naturalne środowisko. Podczas rewolucji przemysłowej pnie brzoź w Anglii stały się znacznie ciemniejsze. Przyczyną tego zjawiska była sadza z kominów fabrycznych. W odpowiedzi na tę zmianę śmy ewoluowały i w ciągu kilku lat przybrały kolor szary, dzięki czemu znów stały się niewidoczne w nowym otoczeniu. Po wielkiej akcji oczyszczania powietrza, którą przeszła Anglia w latach sześćdziesiątych, gruntownie porządkując fabryki, śmy zaczęły wracać do swego pierwotnego ubarwienia.

172 Karol Darwin (1809–1882) jest twórcą współczesnej teorii ewolucji. Wkrótce po zakończeniu studiów uniwersyteckich zaciągnął się w charakterze przyrodnika na pięcioletnią wyprawę badawczą statkiem o nazwie „Beagle”. Podczas tej wyprawy doszedł do wniosku, że gatunki nie są niezmiennie, lecz podlegają zmianom z upływem czasu. Stwierdził to na podstawie badań nad ziębami na wyspach Galapagos. Zaobserwował, że w związku ze zróżnicowaniem środowiska ptaki blisko ze sobą spokrewnione rozwinęły zupeł-

nie inne cechy (np. kształt dzióbów).

W 1859 r. Darwin opublikował dzieło *O powstawaniu gatunków drogą doboru naturalnego*. Być może znaczenie tego dzieła było większe niż wszystkich innych książek, jakie kiedykolwiek napisano. Wbrew silnej wówczas opozycji teologów poglądy Darwina zostały zaakceptowane przez wszystkich oprócz grup skrajnych myślicieli religijnych. Istnieje tak dużo dowodów potwierdzających tę teorię, że uczeni nie zadają sobie już trudu jej sprawdzania, lecz koncentrują się na ustalaniu drobnych szczegółów.

Ojciec Darwina wydał o nim opinię, którą musimy zaliczyć do największych omyłek w ocenie talentów młodych ludzi. Niezadowolony z raczej słabych wyników w nauce napisał do swego syna: „Nie obchodzi cię nic prócz polowań, psów i łapania szcurków. Przyniesiesz wstyd sobie i swojej rodzinie”.

173 Należy zdawać sobie sprawę z różnicy między ewolucją jako faktem a teorią na

jej temat. Czasami słyszy się opinię: „Ewolucja to tylko teoria”. Twierdzenie to wprowadza w błąd, ponieważ ewolucja jest nie tylko teorią, lecz także faktem. Można łatwo zrozumieć, co mam na myśli, rozważając przykład grawitacji. Istnieją różne teorie grawitacji, włączając w to teorie Newtona i Einsteina. Mogą one być słuszne lub nie, kompletne lub niepełne. Oprócz tego istnieje samo zjawisko grawitacji – kiedy coś zostanie upuszczone, to spada. I fakt ten pozostaje faktem niezależnie od tego, jak się ocenia teorie. Faktem jest również rozwój życia na Ziemi od skromnych początków do obecnej złożonej biosfery. Ustalono to na podstawie odnajdywanych szczątków kopalnych. Zdolność istot żywych do zmian w odpowiedzi na zmiany środowiska można obserwować zarówno w przyrodzie, jak i w laboratoriach.

Rozróżnienie między teoriami a faktami jest ważne, ponieważ kreacjoniści posługują się następującą techniką argumentacji. Naukowcy wciąż toczą spory na temat różnych szczegółów teorii, a zatem teoria ta jest niesłuszna, należy ją odrzucić i przyjąć teorię kreacji. To tak, jakby podsłucha-

wszy spór o to, czy biuro jest na 52 czy na 53 piętrze Empire State Building, wyciągnąć wniosek, że dom jest dwukondygnacyjny.

174 Błędy natury są najbardziej dramatycznymi dowodami na istnienie ewolucji. W swym wspomnianym eseju *Kciuk pandy* Steven Jay Gould zwrócił uwagę na fakt, że dobrze przystosowane organy, na przykład oko, nie mogą być uważane za dowody na istnienie ewolucji, ponieważ można je równie przekonująco wytłumaczyć w kategoriach celowego stworzenia – kreacji. Dopiero takie organy jak wyrostek robaczkowy u człowieka lub kciuk pandy mogą dostarczyć poszukiwanego dowodu.

Panda, daleka kuzynka szopa, utraciła swój kciuk na wczesnym etapie rozwoju. Kiedy zmieniło się środowisko, w którym żyło to zwierzę, i liście bambusa stały się podstawą jego pożywienia, posiadanie czegoś w rodzaju kciuka okazało się korzystne, bo ułatwiało odrywanie liści od łodyg. W drodze ewolucji panda wyrosła z boku kości nadgarstka dodatkowa okrągła kostka podobna do kciuka. Nic jest to oczywiście kciuk najlepszy z możliwych – gdybyś projektował to

zwierzę od początku, nie zrobiłbyś tego w ten sposób. Mechanizm doboru naturalnego działa na zwierzę takie, jakim właśnie ono jest, i przystosowuje je do aktualnego środowiska. W wyniku doboru nie powstaje ani bezwzględnie doskonały organizm, ani nawet najbardziej wydajny – po prostu z materiału, jaki jest pod ręką, powstaje dzieło najlepsze, jakie można stworzyć. Czasem, jak w przypadku pandy, wynik wygląda dziwnie.

Tajemnica

175 Jak powstawały skrzydła? Przewaga ewolucyjna, jaką dają w pełni rozwinięte skrzydła, jest łatwa do zauważenia, lecz nie można tego powiedzieć o pożytku płynącym z zawiązków, które musiały być wcześniejszym etapem skrzydeł. W pewnych przypadkach, jak na przykład u ptaków, skrzydła rozwinięły się z przednich kończyn. U owadów jednakże musiały rozwinąć się z wypukłości na bokach tułowia. Jaką korzyść mogły dać takie wyrostki? To, że skrzydła pomogą przetrwać potomkom milion lat później, z pewnością nie oznacza, że ich zawiązki ułat-

wią przetrwanie pojedynczemu osobnikowi dzisiaj. Ostatnio uczeni toczą spory na temat teorii, że zaczątki skrzydeł owadów mogły grać rolę regulatora temperatury, dostarczając dodatkowej powierzchni, przez którą ciepło mogło być absorbowane lub wypromieniowane. Obliczenia wykazują, że najwydajniejsze regulatory ciepła mogły być wystarczająco duże, aby umożliwić owadowi „szybowanie” (w taki sposób, jak to robią „latające” wiewiórki). Organ rozwinięty pierwotnie do innego celu (przenoszenie ciepła) mógł stać się przedmiotem doboru naturalnego, dokonującego się pod zupełnie innym kątem (możliwość efektywniejszego przemieszczania się), i dalej już zmieniać się w nowym kierunku. Teoria ta wydaje mi się przekonująca, ukazuje bowiem doraźną naturę procesu ewolucyjnego.

176 Ewolucja na Ziemi przebiegała w dwóch etapach – chemicznym i biologicznym. Życie na Ziemi musiało rozwinąć się z materii nieorganicznej. Z czegoż by innego mogło powstać? Dlatego pierwszym etapem rozwoju życia było utworzenie się komórek zdolnych do reproduk-

WAŻNE DATY EWOLUCJI

177 Poniżej zestawiono najważniejsze wydarzenia historii Ziemi. Daty umieszczone w prawej kolumnie wskazują dzień, w którym nastąpiłoby dane zdarzenie, gdyby całą historię Ziemi zmieścić w jednym roku.

Czas (w mln lat)	Zdarzenie	Data
4600	Powstanie Ziemi	1 stycznia
3800	Formują się najstarsze skały	5 marca
3600	Najstarsze znane skamieniałości	21 marca
ok. 2000	Pojawienie się w atmosferze znaczących ilości tlenu	26 lipca
ok. 650	Żywe, wielokomórkowe organizmy w oceanach	10 listopada
590	Pojawienie się organizmów objętych dokumentacją paleontologiczną	14 listopada
440	Życie przenosi się na ląd	25 listopada
400	Obfitość ryb (kręgowce)	29 listopada
250	Pojawienie się dinozaurów	12 grudnia
65	Zniknięcie dinozaurów	26 grudnia

*** od tego miejsca wszystkie wydarzenia dzieją się 31 grudnia ***

4	Pierwsze człowiekowie	7:30
0,1	Pierwszy człowiek rozumny	23:49
0,005	Początek historii pisanej	23:59

cji z materiałów, jakie były dostępne na młodej jeszcze Ziemi. Proces ten nazwano ewolucją chemiczną (patrz notka 187 i następne). Kiedy już istniały żywe, rozmnażające się komórki, rozpoczął się proces doboru naturalnego prowadzący do wielkiej różnorodności istniejących dzisiaj form życia.

Ewolucja c.d.

178 Jak przebiegała ewolucja? Przedstawiając swoją teorię ewolucji, Karol Darwin sądził, że zmiany w organizmach następują stopniowo i nakładają się w każdym pokoleniu na to, co zastały, dopóki akumulacja tych

procesów nie doprowadzi do dramatycznego zwrotu. Taką interpretację nasuwa analiza szczątków kopalnych. Pogląd ten jest znany jako gradualizm. W 1972 r. dwaj amerykańscy paleontolodzy, Jay Gould i Niles Eldrige, przedstawili inne wyjaśnienie przebiegu ewolucji. Na podstawie danych paleontologicznych twierdzą oni, że przez większą część czasu między kolejnymi generacjami zachodzą tylko małe zmiany – okres ten nazwali stazą. Po okresach zastoju następują krótkie, gwałtowne „wybuchy” zmian. Taka interpretacja danych pochodzących ze skamieniałości jest nazywana punktualizmem.

Dyskusje nad tym, która z interpretacji danych paleontologicznych jest właściwa, trwają nadal, ponieważ dane te są tak fragmentaryczne i pełne luk, że na ich podstawie nie można odrzucić żadnej teorii. Sądzę, że odpowiedź na pytanie: „Jak przebiegała ewolucja?”, powinna brzmieć: „I tak, i tak”. Prawdopodobnie w historii ewolucji znajdują się przykłady zmian zarówno gwałtownych, jak i stopniowych. Świat jest zbyt skomplikowany, aby wymagały proste odpowiedzi.

179 Czy życie naprawdę zaczęło się na innych planetach? Warunki, które musiały być spełnione, aby życie na Ziemi mogło się rozwinąć z materii nieożywionej, są dość surowe. Pozorne nieprawdopodobieństwo rozwoju życia tutaj przyczyniło się do zrodzenia idei, że życie przyszło na naszą planetę z zewnątrz. Pogląd ten stał się znany jako „panspermia”. W XIX w. twierdzono, że życie przenosiło się z jednego systemu gwiazdowego na inny za pomocą jakiegoś rodzaju przetrwalników, lecz pogląd ten stracił zwolenników i popadł w zapomnienie, kiedy stwierdzono, iż promieniowanie, na jakie byłby narażony taki przetrwalnik w przestrzeni kosmicznej, znacznie przekracza wszelkie wyobrażalne dawki śmiertelne.

Całkiem niedawno powstał inny wariant tej teorii, „panspermia kierowana”. Przedstawił go laureat Nagrody Nobla, Francis Crick. Głosi on, że cywilizacje pozaziemskie umieściły mikroby w statkach kosmicznych zaopatrzonych w odpowiednie osłony przed promieniowaniem i wysłały je na podobne planety, aby zaszczerpić na nich życie. Słabym punktem tej teorii jest brak odpowiedzi na pytanie: „Jak po-

wstało i rozwinęło się życie na planecie macierzystej?” To, co wydaje się nieprawdopodobne tutaj, jest równie mało prawdopodobne gdzie indziej. Dlaczego mamy zastąpić jeden cud (powstanie życia) dwoma cudami (życie plus pragnienie rozsiania go we Wszechświecie)?

Czy teoria Darwina może być zastosowana także do rozwoju społeczeństw ludzkich? Jednym z najbardziej interesujących (i kontrowersyjnych) rozwinieć teorii Darwina jest socjobiologia. Podstawową jej przesłanką jest teza, że niektóre prawa ewolucji biologicznej sprawdzają się także w ewolucji kultury. Według mojej oceny sytuacja socjobiologii jest następująca. Teoria ta przetrwała wstępny okres żarliwej opozycji, głównie ideologicznej. Przeciwnicy jej reprezentowali na ogół lewicę. Obecnie socjobiologia znajduje się w stadium intensywnego rozwoju, który zakończy się ustaleniem granic jej stosowania w badaniach

ludzkich struktur społecznych.

Trudno sobie wyobrazić kogoś, kto mniej by się nadał do roli osoby, wokół której toczą się zawzięte spory, niż Edward O. Wilson z Harvardu. To spokojny uczony akademicki, którego pierwszą miłością jest badanie mrówek, zarówno tych żyjących współcześnie, jak i wymarłych. Ma on na przykład długoterminową umowę z poszukiwaczami bursztynu na Haiti na pierwszeństwo zakupu bursztynów, w których są zatopione mrówki.

To dzięki swoim pracom dotyczącym ewolucji owadów Wilson został twórcą i głównym autorytetem nowej nauki – socjobiologii. Z tego powodu stał się obiektem napaści kolegów, krytykowano go w prasie, a jego nazwisko wykrzykiwali z mównic radykalni studenci na zebraniach naukowych. Myślę, że w obliczu całej tej wrzawy Wilson potrzebował więcej niż trochę odwagi, aby kontynuować prace nad swoją teorią.

Powszechnie spotykane nieporozumienia na temat ewolucji

180 Ewolucja nie twierdzi, że ludzie pochodzą od małp człekokształtnych. Była to stara kaczka dziennikarska wywodząca się jeszcze z czasów Darwina. Teoria ewolucji głosi natomiast, że człowiek i małpy człekokształtne pochodzą od wspólnego przodka, który żył miliony lat temu.

181 Ewolucji nie jest potrzebne „brakujące ogniwo” między człowiekiem a małpami człekokształtnymi. Poszukiwanie tego ogniwa zapisało się trwale w świadomości społecznej. Moim ulubionym przykładem ilustrującym to zagadnienie jest zawodowy zapaśnik, który pomalował sobie twarz na zielono i nazwał się „brakującym ogniwo”. Rozzumowanie jest następujące. Jeżeli człowiek pochodzi od małpy, to powinien istnieć stwór będący w połowie małpą i w połowie człowiekiem. Ponieważ jednak człowiek i małpy człekokształtne pochodzą od wspólnego przodka, to żaden taki stwór nie może istnieć.

182 „Przeżywają tylko najlepiej dostosowani” – twierdzenie to oznacza co innego, niż się powszechnie sądzi. Dobór naturalny jest często charakteryzowany jako „przeżywanie najlepiej dostosowanych”. Sam Darwin użył tego określenia, lecz jest ono często niewłaściwie interpretowane lub źle rozumiane. Darwin użył terminu „dostosowanie” do opisanego osobników, których sukces polegał na wprowadzeniu swojego potomstwa do następnego pokolenia i nic więcej. Na ogół osobniki najlepiej radzące sobie w swoim otoczeniu okazują się jednocześnie „dostosowane”, czyli udaje im się wyprowadzić potomstwo. W XIX w., a dotrwało to także do naszych czasów, wielu filozofów nadawało temu terminowi odcień moralny. Głoszono, że przeżywają i dobrze sobie radzą „najlepsi”. Przykład żyrafy pokazuje, że dobór naturalny działa w inny sposób. W naturze nie istnieje żaden moralny osąd. Można twierdzić jedynie, że bardziej prawdopodobne jest przetrwanie i rozmnożenie się osobników, którym wyposażenie genetyczne dało przewagę nad innymi. W dalekiej przyszłości potomstwo tych osobników może osiągnąć dominację w populacji.

W XIX w. brytyjski filozof Herbert Spencer przeniósł to, co uważał za idee Darwina, do rozważań na tematy społeczne. Teoria jego stała się znana jako „socjologia ewolucjonistyczna”. Opierała się na twierdzeniu, że w społeczeństwie, podobnie jak w przyrodzie, przeżywają najlepiej dostosowani. Bogaci zajmują swoje uprzywilejowane miejsce, ponieważ są lepiej dostosowani, a biedni są niedostosowani i dlatego są tam, gdzie są.

Oczywiście stawia to na głowie cały paradygmat Darwina. Ktoś taki jak Leland Stanford, budowniczy Southern Pacific Railroad i jeden z największych królów rozboju, był według darwinowskich standardów zdecydowanie źle dostosowany. Miał tylko jedno dziecko – chłopca, który zmarł, zanim mógł spłodzić własne potomstwo. Tymczasem najniżej w hierarchii stojący chiński kulis lub robotnik irlandzki, pracujący na kolei Stanforda, mógł z łatwością mieć tuzin dzieci i dlatego w darwinowskim sensie tego słowa był znacznie lepiej dostosowany niż Stanford.

Kiedy omawiałem teorię Darwina ze studentami, lubiłem im uświadomić, że z powodu studentów stają się źle dostosowani,

ponieważ trwonią swoje najlepsze lata reprodukcyjne.

183 Indywidualni przedstawiciele gatunku nie mogą zmienić swojego wyposażenia genetycznego. Francuski uczyony Jean-Baptiste Lamarck wierzył, że cechy nabyte mogą być przekazane następnemu pokoleniu. Jeżeli na przykład żyrafa będzie sięgać wysoko po liście, to wyrosnie jej dłuższa szyja i jej potomstwo odziedziczy tę cechę nabytą. Dzisiaj wiemy, że takie cechy nie są dziedziczne. Dziecko atlety dźwigającego ciężary nie otrzyma automatycznie potężnych mięśni ani dziecko maratończyka nie będzie miało większej pojemności płuc. Dziedziczymy bardzo wiele od swych rodziców, lecz to dziedzictwo nie ma nic wspólnego z przebiegiem ich życia.

W latach dwudziestych w Związku Radzieckim osiągnął polityczną dominację „genetyk” rosyjski Trofim Łysenko, ponieważ sądzono, że jego teorie są zgodne z filozofią marksistowską. Odrzucił on pogląd, że geny mają związek z dziedziczeniem, i odwrócił się plecami do „dekadencej” nauki Zachodu. Obiecał Stalinowi, że posadzi rząd

drzew cytrynowych od Morza Czarnego do Moskwy. Najpierw posadzi drzewko w nieco tylko chłodniejszym klimacie, pozwoli mu na adaptację, a następne pokolenie znów przesadzi trochę dalej na północ. Wykorzystując swoje wpływy polityczne, Łysenko sparaliżował rosyjskie nauki biologiczne na pół wieku przez wysyłanie swoich rywali do obozów i zakaz nauczania nowoczesnej genetyki. Sprawa Łysenki jest jednym z najczarniejszych epizodów w historii nauki.

Kreacjonizm a ewolucja

184 Kreacjonizm jest poglądem głoszącym, że Ziemia została stworzona przez Boga kilka tysięcy lat temu. Kreacjonizm (czyli „nauka o stworzeniu”) nieco się ostatnio ożywił w Stanach Zjednoczonych. Głosi on, że Ziemia została stworzona kilka tysięcy lat temu mniej więcej tak, jak jest opisane w *Księdze Rodzaju*. Według tej teorii istoty żyjące zostały stworzone celowo w ich obecnej formie i od czasu stworzenia nie zachodziły w nich żadne zmiany. Kreacjonizm jest związany z konserwatywnymi

kościółami protestanckimi i nie znajduje większego poparcia ani ze strony nauki, ani teologii.

185 Nauka o stworzeniu nie stosuje reguł obowiązujących w nauce. Kreacjoniści twierdzą, że ich poglądy powinny być traktowane w nauczaniu publicznym na równi z powszechnie akceptowaną teorią ewolucji, ponieważ reprezentują oni „naukę alternatywną”. Na szczęście sąd orzekł, że taktyka ta miała sprzyjać wprowadzeniu nauczania religii do szkół. Z naukowego punktu widzenia nie sposób udowodnić kreacjonistom, że są w błędzie. Niezależnie od tego, jaki dowód będzie przedstawiony, ich odpowiedź zawsze brzmi tak samo: „Cóż, w ten właśnie sposób zostało to stworzone”.

Jednym z częściej wysuwanych argumentów przeciwko kreacjonizmowi jest ten, że widzimy gwiazdy odległe o miliardy lat świetlnych, więc światło od nich biegło do nas już od miliardów lat. Wszystko to nie mogło być zatem stworzone sześć tysięcy lat temu. Odpowiedzią kreacjonistów na ten argument jest doktryna celowo kreowanej starożytności. Zgodnie z nią światło stwo-

rzono tak, aby sugerowało, że istnieje już miliardy lat. Muszę przyznać, że myśl o Bogu celowo wprowadzającym w błąd jest dla mnie dość trudna do zaakceptowania.

186 Ewolucja nie narusza drugiej zasady termodynamiki. Jeden zwłaszcza argument kreacjonistów wyprowadza mnie, jako fizyka, z równowagi. Jest on następujący. Ewolucja wymaga, aby życie zmierzało od form prostych do coraz bardziej złożonych, podczas gdy druga zasada termodynamiki głosi, że układy zmierzają do stanu maksymalnego nieuporządkowania i z tego powodu ewolucja narusza prawa fizyki.

Tymczasem druga zasada termodynamiki odnosi się tylko do układów izolowanych, a Ziemia nie jest takim układem, ponieważ cały czas otrzymuje energię od Słońca. W celu zrozumienia, dlaczego szczegół ten jest ważny,

warto wyobrazić sobie prostą czynność – wytwarzanie kostek lodu w lodówce. Kiedy robisz kostkę lodu, kreujesz układ o wysokim uporządkowaniu (lód) z układu o niskim uporządkowaniu (woda), zużywając do tego energię z lokalnej elektrowni.

Wzrost uporządkowania w kostce lodu jest równoważony przez zmniejszenie uporządkowania w elektrowni, w której spalany węgiel ogrzewa atmosferę. Dopóki wszystko bilansuje się w księgach rachunkowych, dopóty prawa fizyki nie są naruszone. Ten sam argument jest odpowiedni także dla żywych organizmów na Ziemi. Rosnący porządek w biosferze jest równoważony rosnącym nieuporządkowaniem w naszym „zakładzie energetycznym” – Słońcu.

Gdyby mimo wszystko argument kreacjonistów był słuszny, to żaden system nie mógłby stać się bardziej uporządkowany i nigdy nie zrobiłbyś sobie kostki lodu do ochłodzenia napojów.

Ewolucja skomplikowanych form życia

Ewolucja chemiczna

187 Wiemy już, jak mogły powstać w początkach Ziemi podstawowe cegielki, z których są zbudowane organizmy żywe. W 1955 r. Harold Urey i Stanley Miller z uniwersytetu w Chicago przeprowadzili doświadczenie, które pokazało, w jaki sposób mógł nastąpić pierwszy krok ewolucji chemicznej. Zmieszali metan, wodór, amoniak i dwutlenek węgla – tzn. związki, z których zgodnie z naszym przekonaniem składała się pierwotna ziemiska atmosfera – i poddali tę mieszaninę działaniu wyładowań elektrycznych. Zaobserwowali, że ze składników pierwotnej atmosfery w ciągu paru godzin powstały cząsteczki zwane aminokwasami, które są podstawowym budulcem białek. Z kolei białka to związki wykonujące w organizmach żywych większość chemicznej pracy. W późniejszych doświadczeniach te same składniki wyjściowe poddawano działaniu ciepła

(np. z wulkanów) i promieniowania nadfioletowego (ze Słońca), w wyniku czego otrzymywano również aminokwasy. Współcześni badacze odkryli, że w reakcjach typu Millera–Ureya mogą powstawać nie tylko aminokwasy, lecz także mieszanina złożona z przeróżnych cząsteczek biochemicznych.

188 Życie mogło powstać w „zupie pierwotnej”. Gdyby w pierwotnej atmosferze Ziemi zachodziła reakcja Millera–Ureya, to do oceanu spadałby deszcz aminokwasów. W ciągu 100 000 lat (jest to krótki okres z geologicznego punktu widzenia) stężenie aminokwasów w oceanie równałoby się obecnemu stężeniu soli. Tak więc ocean roił się od cząsteczek, z których mogłoby powstać życie, gdyby się ze sobą połączyły.

Ocean taki nazywa się często zupą pierwotną. Stężenie aminokwasów w tej zupie wynosiło kilka procent – było prawie takie

samo, jakie otrzymuje się po rozpuszczeniu kostki bulionu prawie w 4 litrach wody. Nie byłoby to przyjemne miejsce do pływania – wiele z tych aminokwasów dość brzydko pachnie – lecz było miejscem nadzwyczaj bogatym w substancje pokarmowe. Jak się przypuszcza, w tej zupie powstały pierwsze żywe komórki.

189 Kilka aminokwasów mogło przybyć na Ziemię w meteorytach. Odkrycie, że aminokwasy są związkami całkiem pospolitymi we Wszechświecie, było jednym z najbardziej zdumiewających wydarzeń ostatnich kilku dekad. Wykryto je w wielkich chmurach Drogi Mlecznej i w meteorytach, które spadły na Ziemię z przestrzeni kosmicznej. Fakt ten naprowadził pewnych specjalistów na myśl, że kilka lub wręcz wszystkie aminokwasy przyleciały na Ziemię z meteorytami. Niezależnie od tego, którą z dróg aminokwasy trafiły do oceanu – czy z meteorytami, czy przez reakcje Millera–Ureya, czy też na oba sposoby jednocześnie – wynik był taki, że wkrótce po ostygnięciu oceany na Ziemi były pełne aminokwasów.

Tajemnica

190 Nie wiemy, w jaki sposób w zupie pierwotnej powstały ze złożonych związków chemicznych pierwsze komórki. Jest to największa luka w naszej wiedzy o ewolucji życia. Powstanie komórki w zupie pierwotnej jest klasyczną sytuacją odpowiadającą pułapce, jaką stanowił „paragraf 22”. Jeżeli białka powstaną z aminokwasów w powietrzu lub na powierzchni oceanu, to promieniowanie nadfioletowe Słońca zaraz je zniszczy. Aby uciec od tego losu, aminokwasy muszą się połączyć pod wodą, lecz w tym przypadku ulegną zniszczeniu wskutek reakcji z wodą. Jedynym sposobem otrzymania z zupy związków bardziej złożonych było powstanie regionów o tak wysokim stężeniu aminokwasów, żeby woda nie mogła się do nich przedostać. Z tego powodu rozważania dotyczące powstania pierwszej komórki skupiły się na tym, w jaki sposób aminokwasy mogły uzyskać tak wysoką koncentrację.

Mogło się to wydarzyć w basenach pływowych, do których woda wpływa podczas przypływu i paruje w czasie odpływu, pozostawiając za sobą wysoką koncentrację aminokwasów.

stawiając aminokwasy. Gdyby basen taki miał głębokość około 9 m, to na jego dnie promieniowanie nadfioletowe byłoby już wystarczająco osłabione, aby mogły przetrwać powstające tam złożone związki aminokwasów.

Wyparowanie wody i tym samym zwiększenie koncentracji aminokwasów mogło także nastąpić pod wpływem ciepła pochodzącego z wulkanów. Inna możliwość to reakcje zachodzące między aminokwasami znajdującymi się na dnie oceanów pomiędzy pokładami różnych minerałów gliniastych.

191 Chociaż nie wiemy, jak powstały pierwsze komórki – wiadomo, że nastąpiło to bardzo szybko. Przyjmuje się, że Ziemia powstała 4,6 miliarda lat temu, a około 3,6 miliarda lat temu istniały już na niej dość zaawansowane w rozwoju organizmy jednokomórkowe (patrz niżej). Tak więc w ciągu zaledwie 800 milionów lat nasza planeta przekształciła się z gorącej i całkowicie nieorganicznej w chłodną i żywą. Według najlepszych obecnie oszacowań wystarczył miliard lat od powstania oceanu, aby zapełnił się on organizmami jednokomórkowymi.

192 Pierwsze komórki mogły powstać również w ochronnej otoczce substancji tłuszczowych. Niektóre substancje tłuszczowe samorzutnie tworzą w wodzie pęcherzyki. Fakt ten posłużył jako podstawa do opracowania innego scenariusza powstania pierwszej komórki. Według niego w pierwotnym oceanie znajdowały się substancje tłuszczowe, które tworzyły pęcherzyki. Wewnątrz tych pęcherzyków następowały reakcje łączenia się aminokwasów w białka, osłonięte ich otoczką przed niszczącym wpływem wody. Scenariusz ten ma przewagę nad innymi, ponieważ rozstrzyga dwa główne problemy związane z powstawaniem komórki: wyjaśnia, jak może powstać złożony związek i jak zawartość nowo powstałej komórki może być izolowana od otoczenia.

Dokumentacja paleontologiczna

193 Ewolucję życia poznajemy na podstawie danych pochodzących z badania skamieniałości. Kiedy zwierzę lub roś-

lina umiera, może się zdarzyć, że zostanie zagrzebana w podłożu. Przez szczątki przepływać będą wody podziemne i stopniowo minerały znajdujące się w wodzie zajmą miejsce atomów zagrzebanego organizmu. Rezultatem tego procesu, po bardzo długim czasie, jest dokładna kamienna replika zagrzebanego organizmu. Miliony lat później skamieniałości takie znajdują paleontolodzy i nowy fragment informacji o dawnym życiu dodaje się do już posiadanych. Kompletna informacja zawarta w skamieniałościach już odkrytych jest nazywana dokumentacją paleontologiczną.

194 Danym paleontologicznym daleko do doskonałości. Nie każde nieżywe zwierzę staje się skamieniałością, zazwyczaj szczątki ulegają rozłożeniu i wcale nie dochodzi do ich grzebania w całości. Z kolei nie każde staje się skamieniałością – oczywiście twarde części organizmu, na przykład szkielety, łatwiej się zachowują niż części miękkie, jak skóra i organy wewnętrzne. I w końcu nie każda skamieniałość, która powstała, zostaje

przez uczonych znaleziona. Według szacowań paleontologów szczątki kopalne pozwalają poznać jeden gatunek spośród 10 tysięcy gatunków współcześnie z nim występujących.

Pomimo wszystkich tych niedoskonałości dane paleontologiczne są jedynym dostępnym źródłem wiedzy o rozwoju życia na naszej planecie.

195 Większość skamieniałości powstała w płytkich morzach szelfowych. Jeżeli roślina lub zwierzę traci życie na lądzie, jego szkielet prawdopodobnie będzie rozwleczony przez organizmy odżywiające się padliną lub czynniki atmosferyczne – a szansa jego zachowania się w postaci skamieniałości jest niewielka. Sytuacja organizmów żyjących w szelfie kontynentalnym jest zupełnie inna. Wpadają one w grubą warstwę mułu na dnie i zostają niezwłocznie przykryte. Zwiększa to ich szansę na fosylizację. Nie powinno zatem być niespodzianką, że ogromna większość posiadanych przez nas skamieniałości pochodzi z obszarów, które kiedyś były szelfami kontynentalnymi. Nie jest to takie złe, jak by się wydawało na pierw-

szy rzut oka. Gdybyś miał wybrać tylko jeden region, aby na jego podstawie ocenić bogactwo współczesnego ekosystemu Ziemi, prawdopodobnie także wybrałbyś szelf kontynentalny.

196 Pierwsze jednokomórkowce, które pozostawiły po sobie ślad, to sinice żyjące w pobliżu brzegu oceanu. Komórki sinic tworzą skupienia w postaci niebieskozielonego kożucha, zbierającego się tuż przy brzegu stawów i jezior, a także w zastoiśkach rzek. Same sinice nie pozostawiły po sobie skamieniałości, lecz po nitkach ich kolonii pozostały odciski w glinie i mule, które później zamieniły się w skałę. Skały takie można dziś zobaczyć w kilku miejscach na Ziemi.

197 Całą prehistorię nosimy w sobie. DNA w naszych ciałach i we wszystkich żyjących istotach występuje w formie prawoskrętnej spirali. Dlaczego wszystkie żywe istoty na Ziemi mają ten szczególny rodzaj DNA? Częsteczka DNA może przecież równie dobrze mieć postać spirali lewoskrętnej.

Znaczące wydarzenia ewolucji

198 „Prawdziwe” skamieniałości pojawiły się dopiero około 600 milionów lat temu. Gdy słyszymy słowo skamieniałość, nie myślimy o takich rzeczach jak nitki glonów. Zamiast nich pojawiają się nam przed oczami olbrzymie szkielety dinozaurów w słabo oświetlonych salach muzeów.

Dopiero 590 milionów lat temu, na początku pierwszego okresu ery paleozoicznej, nazywanego przez geologów kambrem, pojawiły się szkielety i inne twarde części istot żywych. Części te były trwalsze niż tkanki miękkie, zwiększyło się więc prawdopodobieństwo, że staną się skamieniałościami. Dokumentacja paleontologiczna z okresów przedkambryjskich jest bardzo uboga. Nagłe pojawienie się skamieniałości w kambrze specjaliści nazywali eksplozją kambryjską.

Dzisiaj wiemy, że skomplikowane organizmy istniały także przed kambrem, lecz pozostawiły po sobie bardzo mało skamieniałości – można sobie łatwo wyobrazić ocean pełen istot podob-

nych do chelbi. W kambrze nie nastąpił gwałtowny rozwój wszystkich organizmów, lecz tylko tych, które miały szkielety.

199 Skomplikowane formy życia powstały w oceanie. Podobnie jak pierwsze komórki, także pierwsze organizmy wielokomórkowe powstały w oceanie. 590 milionów lat temu rozwinęły się w płytkich wodach oceanu złożone organizmy roślinne i zwierzęce, jak na przykład glony, mięczaki, korale. Od tego czasu przez ponad 150 milionów lat życie na Ziemi istniało tylko w oceanach, lądy były jałowym pustkowiem.

200 Życie wydostało się na ląd około 430 milionów lat temu. Pierwsze „wyszły” z wody rośliny, a następnie zwierzęta podobne do dzisiejszych skorpionów. Zdarzyło się to w okresie nazywanym przez geologów sylurem. Ponieważ na nowym terytorium nie istniała konkurencja, te organizmy, które przeniosły się na ląd, radziły sobie bardzo dobrze i szybko się rozprzestrzeniły.

201 Pierwszymi kręgowcami były kręglouste i ryby. 380 lat temu – w dewonie – w oceanach dominowały rekiny i olbrzymie ryby pancerne (teraz wymarłe). Właśnie one były wówczas najbardziej złożonymi formami życia na naszej planecie.

202 „Era gadów” rozpoczęła się 248 milionów lat temu, a zakończyła wymarciem dinozaurów 65 milionów lat temu. Okres ten jest znany najlepiej, ponieważ obejmuje dinozaury, grupę bardzo urozmaiconą. Nie wszystkie dawne gady były ogromne. Wiele z nich miało rozmiary nie większe od dzisiejszego lisa. Wtedy, gdy na lądzie i morzu dominowały dinozaury, przodkowie dzisiejszych ssaków – małe zwierzęta podobne do myszy – z trudem walczyli o swoją niepewną egzystencję.

203 Wyginięcie dinozaurów otworzyło drogę ssakom. W ciągu ostatnich 65 milionów lat ssaki są najwyższymi uorganizowanymi i dominującymi zwierzętami na Ziemi. Są tacy, którzy twierdzą, że zagłada wielkich gadów miała swoje dobre strony.

niezależnie od tego, jak do niej doszło – inaczej gady dominowałyby nadal i nie byłoby ludzi.

204 Ludzie pojawili się na Ziemi bardzo niedawno. Jeżeli cały czas istnienia Ziemi przedstawić jako jeden rok, to człowiek (jeśli Lucy – patrz notka 229 – potraktuje się jako człowieka) jest obecny na Ziemi od paru godzin. Jeżeli jednak historię człowieka zacznie się liczyć od *Homo sapiens*, to zajmie ona tylko kilka minut.

Dinozaury

205 Z punktu widzenia nauki dinozaury się nie liczą. No cóż, trochę się liczą, lecz wcale nie tak bardzo, jak się powszechnie sądzi. Nigdy, w żadnym okresie nie żyło na raz więcej niż kilka gatunków wielkich dinozaurów. Były fascynujące. Na kim nie zrobiłyby wrażenia na przykład tyranozaur czy brontozaur? Podobnie jak dzisiejsze słonie i nosorożce – były piękne, interesujące, lecz niewiele mówią o życiu na Ziemi. Należałoby jeszcze wspomnieć, że dinozaury były zwierzętami

lądowymi, więc pozostało po nich mało skamieniałości. Mamy zatem taką sytuację, że skamieniałości najbardziej interesujące szeroką publiczność są o wiele mniej interesujące dla naukowców.

206 Około 28 dm³ wapienia z niektórych stanowisk może dostarczyć 50 tysięcy skamieniałych muszelek – pozostałości małych zwierząt żyjących w szelfie kontynentalnym. Dostarczają one więcej danych paleontologicznych niż wszystkie dinozaury we wszystkich muzeach świata.

207 Część dinozaurów przejawiała zachowania społeczne. W przeciwieństwie do współczesnych gadów część dinozaurów żyła w stadach i opiekowała się młodymi. Jack Horner z Museum of the Rockies w Bozeman (Montana) odkrył miejsca, gdzie gniazdowały duże kolonie dinozaurów. Horner twierdzi, że także migrowały dużymi stadami. Jest to nowe spojrzenie na dinozaury, ale dotychczas oparte tylko na znalezisku Hornera.

208 Dinozaury są być może spokrewnione ze współczesnymi ptakami. Niektórzy uczeni twierdzą, że dinozaury tak całkiem nie wymarły, ponieważ mają potomków żyjących dziś na Ziemi – ptaki. Kiedy więc będziesz jadł indyka, pamiętaj, że spożywasz dalekiego kuzyna tyranozaura.

209 Niektóre dinozaury mogły być stałocieplne. Zwierzęta stałocieplne, jak człowiek, zachowują stałą temperaturę ciała niezależnie od temperatury otoczenia. Temperatura zwierząt zmiennocieplnych, jak współczesne gady, zależy od temperatury otoczenia. Dawniej sądzono, że dinozaury, podobnie jak gady, były zmiennocieplne. Teraz pewni uczeni twierdzą, że mogły być stałocieplne, podobnie jak ptaki. Twierdzenie to jest trudne do udowodnienia, gdyż w skamieniałościach nie zachowały się tkanki miękkie, a jedynie kości i zęby, więc badacze mogą je tylko porównywać z obecnie żyjącymi zwierzętami i wyciągać wnioski na podstawie analogii. Dotychczas żadna ze stron nie odniosła w tym sporze, moim zdaniem, zdecydowanego zwycięstwa.

210 Dinozaury znikły nagle około 65 milionów lat temu. Sposób, w jaki wymarły, jest być może ciekawszy niż ich życie. Znikły nagle. Mogło to trwać tysiąc lat lub kilka dni. Obecnie nic potrafimy dokładnie sprecyzować, jak długo trwało to wymieranie. Jest to jeden z wątków sporów, jakie się toczą na temat wyginięcia dinozaurów.

Wymieranie

211 Ogromna większość wszystkich gatunków, jakie kiedykolwiek żyły, już wymarła. Moja żona nie cierpi, gdy tak mówię. Nazywa to gadaniem fizyka. Powyższymi słowami wyraziłem następującą myśl. Według różnych szacunków obecnie zamieszkuje Ziemię 10 do 50 milionów gatunków. Stanowi to tylko 0,1 procent wszystkich gatunków, jakie żyły na Ziemi od chwili jej powstania. Pojawienie się gatunku, istnienie przez jakiś czas i wymarcie to normalny przebieg ewolucji.

Specjaliści oszacowali, że przez cały okres, który obejmuje dokumentacja paleontologiczna, gatunki wymierały w tempie kilkuset rocznie. Nie można zapobiec

wymieraniu gatunku, podobnie jak nie można uchronić od śmierci pojedynczych jego osobników.

212 Przeciętny czas życia gatunku wynosi około miliona lat. Jeżeli czas życia rodzaju ludzkiego zacząć liczyć od Lucy (patrz notka 229), to człowiek żyje już ponad 3 miliony lat.

213 Wymarciu dinozaurów było masową zagładą. 65 milionów lat temu wraz z dinozaurami wymarło dwie trzecie wszystkich gatunków żyjących wtedy na Ziemi. Stopień zaniku pewnych organizmów, takich jak plankton oceanów, osiągnął aż 98 procent. Gdy mamy do czynienia z tak wielkim wymieraniem, co potwierdzają dane paleontologiczne, to wydarzenie takie otrzymuje specjalną nazwę: masowa zagłada. W świetle tych faktów teorie, jakie można znaleźć w pismach brukowych, głoszące, że dinozaury zostały wytępione przez zielone ludziki z latających spodków, można spokojnie zignorować. Chyba że te małe zielone ludziki polowały też na plankton.

214 Masowa zagłada, jaka objęła dinozaury, nie była ani ostatnia, ani największa w hi-

storii. Na podstawie dokumentacji paleontologicznej stwierdzono osiem do dwunastu masowych wyginięć (zależnie od sposobu liczenia) w ciągu ostatnich 250 milionów lat. Ostatnie z nich, na nieco mniejszą skalę niż to, które objęło dinozaury, wydarzyło się 11 milionów lat temu. Największe nastąpiło 248 milionów lat temu, pod koniec permu. Wyginęło wtedy 80 procent wszystkich żyjących wtedy gatunków.

215 Przyczyną wyginięcia dinozaurów było prawdopodobnie uderzenie meteorytu w Ziemię. Najnowsza teoria głosi, że wyginięcie ich było skutkiem zjawisk, które nastąpiły po uderzeniu w Ziemię meteorytu o średnicę około 10 km. Pyły, jakie powstały podczas zderzenia, przesłoniły światło Słońca na całym świecie na prawie trzy miesiące, co zabiło większość roślin. Stało się to przyczyną wyginięcia zwierząt roślinożernych. Po nich wyginęły zwierzęta drapieżne. Ten scenariusz wydarzeń nazywany jest hipotezą Alvarezów, którzy pierwsi przedstawili dowody. Obecnie hipoteza ta przedstawia się następująco. Dowody na to, że nastąpiło zderzenie Ziemi z meteorytem, są nieodparto. Nie budzi wątpliwości

także czas, w jakim ono nastąpiło, lecz nadal toczą się spory, czy była to jedyna przyczyna zagłady, czy tylko jedna z przyczyn.

216 Jest zupełnie możliwe, że masowa zagłada następuje co 26 milionów lat. Nowe opracowanie komputerowe danych paleontologicznych ujawniło, że masowe wymieranie nie jest wydarzeniem przypadkowym, ale regularnym. Jeżeli to prawda i jeżeli jedno z nich nastąpiło wskutek zderzenia, to rozsądne jest założenie, że wszystkie pozostałe także były spowodowane zderze-

niami. Przynajmniej tak właśnie twierdzi kilku uczonych. Oznaczałoby to, że Ziemia jest regularnie bombardowana przez duże obiekty z przestrzeni kosmicznej. Nie jest wcale jasne, dlaczego tak się dzieje.

217 Nie martw się, następna zagłada nie nadejdzie tak szybko. Ostatnie masowe wymieranie zdarzyło się 11 milionów lat temu, zostało nam więc do następnego około 15 milionów lat.

Ewolucja człowieka

218 Rodowód człowieka może być prześlędzony na podstawie skamieniałości. Historię rodzaju ludzkiego, podobnie jak wszystkich istot na Ziemi, można odtworzyć na podstawie danych paleontologicznych. Dane te obejmują zarówno odległych przodków współczesnego człowieka i małp człekokształtnych, jak i bardziej bezpośrednich przodków *Homo sapiens*. Pogląd, że rodzaj

ludzki nie różni się od innych zwierząt, był zawsze trudny do zaakceptowania.

219 Ukrytym problemem we wszystkich próbach wyjaśnienia ewolucji była zawsze odpowiedź na pytanie, czym jest istota ludzka. Jeśli się chce śledzić drzewo rodowe człowieka, to trzeba mieć jasne pojęcie o tym, czym różni się istota ludzka od jej przod-

ków. Pociąga to bowiem za sobą ważne konsekwencje. Przez całą historię uważano, że człowiek jest istotą szczególną, całkowicie różniącą się od reszty istot na Ziemi. Nawet po zaakceptowaniu teorii ewolucji Darwina popełniono zdumiewająco dużą liczbę błędów wskutek tego, że uczeni nie chcieli widzieć podobieństw między *Homo sapiens* a na przykład neandertalczykiem (patrz niżej).

220 Najważniejszym etapem w rozwoju człowieka było uzyskanie zdolności do poruszania się na dwóch nogach. Ludzie różnią się od innych zwierząt rozmiarami mózgu, wyobrażano więc sobie, że najpierw u istot ludzkich rozwinął się duży mózg, a dopiero później nastąpiło spionizowanie postawy. Stało się akurat na odwrót. Pierwsza była pionizacja postawy, a dopiero potem rozwinęła się inteligencja. Problem: dlaczego i jak hominidy zaczęły chodzić wyprostowane – jest ciągle jeszcze przedmiotem gwałtownych sporów między specjalistami. Jednak jest już zupełnie pewne, że jeszcze miały małe mózgi (około jednej czwartej mózgu współczesnego człowieka), a już chodziły wyprostowane.

221 Wiara, że rodzaj ludzki dysponował inteligencją już na wczesnym etapie rozwoju, wsparła wielką mistyfikację z Piltown. W 1912 r. paleontolog amator Charles Dawson doniósł, że znalazł czaszkę i fragmenty szczęki w zwirowni na Piltown Common w południowej Anglii. Skamieniałość miała wielką czaszkę (wskazującą na rozwiniętą inteligencję) i prymitywną szczękę. Po czterdziestu latach, podczas których człowieka z Piltown coraz trudniej można było pogodzić z narastającą wiedzą o ewolucji człowieka, skamieniałość ta została ponownie zbadana. Fragmenty czaszki okazały się współczesne (choć sprytnie spreparowane), a szczęka należała do orangutana. Nowoczesne techniki, takie jak datowanie izotopowe, prawdopodobnie zapobiegają w przyszłości tak prymitywnym oszustwom. Muszę przyznać, że kiedy zobaczyłem tę skamieniałość w British Museum, fakt, że zęby są dodane, wydał mi się oczywisty. Kto to spreparował? Nikt tego nie wie, lecz moim ulubionym kandydatem jest Artur Conan Doyle, twórca Sherlocka Holmesa i sędziad Dawsona.

222 *Homo sapiens* jest jedynym przedstawicielem naszego rodzaju, który przetrwał. Gdyby zdarzenia przebiegały normalnie, można byłoby oczekiwać, że będzie istnieć wiele innych gatunków tego samego rodzaju co człowiek, na przykład *Homo A*, *Homo B* itd. Nasze drzewo genealogiczne jest w rzeczywistości bardzo mocno przycięte – jesteśmy jedynym gatunkiem, który przetrwał nie tylko w naszym rodzaju, lecz także w całej rodzinie człowiekowatych, czyli hominidów. Pozostaje kwestia otwartą, czy nasi przodkowie oczyścili to drzewo, zmiotając z powierzchni Ziemi swoich rywali, czy też stało się to wskutek doboru naturalnego.

223 W rodowodzie człowieka są ogromne luki. Typowa jest następująca sytuacja. Znajdujemy kilka czaszek jednego gatunku w kilku miejscach danego regionu, potem kilka czaszek innego gatunku w miejscach odpowiadających temu samemu okresowi geologicznemu, lecz w innym regionie. Czy obie te grupy czaszek reprezentują równoległe gałęzie drzewa genealogicznego, czy może jeden z osobników był przodkiem drugiego?

Są to pytania, na które nie można odpowiedzieć wyłącznie na podstawie dat. Skutkiem tego są nieustanne spory dotyczące układu gałęzi prowadzących do człowieka współczesnego.

224 Chcąc mówić o graczach, trzeba podać ich listę. Jednym z najtrudniejszych aspektów studiowania ewolucji człowieka jest poznanie dziwnie brzmiących nazw, nadawanych różnym członkom naszego drzewa rodowego. Poniżej są podane nazwy „graczy” w kolejności ich pojawiania się, wraz z wyjaśnieniem, co znaczą.

Ramapithecus (małpa Ramy) – szczątki kopalne odkryte w Indiach i nazwane od imienia hinduskiego boga Ramy. (Według najnowszych badań ramapitek został uznany za przodka orangutana, skreślono go więc z listy hominidów – przyp. tłum.)

Proconsul (przed Consul) – w latach trzydziestych w Anglii działał teatrzyk rewiowy, którego osobliwością był szympanz imieniem Consul. Odkrywczy, w przychyłnej fantazji, nazwali swoją skamieniałość przodkiem Consula.

Australopithecus (człklokartałna małpa południowa) – szczątki kopalne znalezione po raz pierwszy w Afryce. Jest to nazwa rodzaju, do którego należy kilka gatunków australopiteków.

Homo habilis (człowiek zręczny) – pierwsza skamieniałość, którą znaleziono wraz z kamiennymi narzędziami.

Homo erectus (człowiek wyprostowany).

Homo neanderthalensis (człowiek neandertalski) – pierwsza „ludzka” skamieniałość, która została odkryta i rozpoznana w dolinie rzeki Neander w Niemczech.

Homo sapiens (człowiek rozumny) – ty i ja.

Człowiek z *Cro-Magnon* (to samo co *Homo sapiens*) – termin pochodzi od lokalnej nazwy nawisu skalnego we Francji, gdzie szczątki te odnaleziono po raz pierwszy.

225 Współcześni ludzie i współczesne małpy człekokształtne pochodzą od wspólnego przodka. W okresie między 20 a 10 milionami lat temu żyło w Afryce zwierzę podobne do szympansa – *Proconsul*. Jest ono tak bliskie „brakującemu ogniwu”, jak to tylko możliwe, i część uczonych twierdzi, że jest to najstarszy wspólny przodek ludzi i małp człekokształtnych. Po *Proconsulu* rozdzieliło się drzewo rodowe małp człekokształtnych i hominidów (przodków człowieka). W okresie pomiędzy 14 a 8 milionami lat temu w Afryce i Azji żyło stworzenie chodzące w pozycji wyprostowanej, podobne do małpy czleko-

kształtnej – nazwano je *Ramapithecus*. Miało ono wiele cech łączących je ze współczesnym człowiekiem, jak na przykład wyprostowaną postawę i podobną budowę szczęki.

226 *Proconsul*, jako skamieniałość, miał interesujące i znamienne losy. Kiedy znaleziono po raz pierwszy szczątki tej szczególnej małpy, nie doceniono ich znaczenia i umieszczono je w skrzyniach opatrzonych etykietą „zbierania”. Zostały w końcu odkryte w muzeum, a nie w terenie. Wydaje się interesujące, co jeszcze może się kryć na zakurzonych półkach muzeów.

227 Pierwsza wielka luka w rodowodzie człowieka obejmuje okres od 8 do 3 milionów lat temu. Nie wiemy, co zdarzyło się naszym przodkom po ramapiteku. Wynika to z faktu, że nie posiadamy ani dostatecznej liczby szczątków kopalnych wczesnych małp człekokształtnych, ani wczesnych małpoludzi, aby możliwe było uporządkowanie obu tych gałęzi. Jest to najmniej znany fragment rodowodu człowieka.

228 Pierwszym przedstawicielem ludzkiej linii rozwojowej był australopitek. Jeżeli nazwie się rodzinę hominidów „ludzka”, to przedstawicielei rodzaju *Australopithecus* można nazwać pierwszymi ludźmi. Były to zwierzęta wyprostowane, wzrostu około 90 cm, prawdopodobnie pokryte futrem, podobnie jak współczesne małpy człekokształtne. Żyły od 4 do 1,5 miliona lat temu. Istniało kilka gatunków australopiteków. Najstarszy był *Australopithecus afarensis* (patrz niżej). Później rozwinęły się dwa odrębne gatunki: jeden – krzepki, silny i prawdopodobnie roślinożerny; drugi – mały, szybki i zapewne polujący. Wszystkie gatunki australopiteków wymarły najpóźniej milion lat temu. Nikt nie wie, dlaczego zniknęły, chociaż jako jedną z możliwości wymienia się konkurencję z odległym przodkiem *Homo sapiens*.

229 Najstarszym znanym przedstawicielem człekokształtnych była samica australopiteka – Lucy. Najwcześniejszą i najbardziej sławną skamieniałość, odkrytą w 1974 r., nazwano Lucy – pod wpływem piosenki

Beatlesów *Lucy in the Sky with Diamonds*, której odkrywcy słuchali przy ognisku podczas przyjęcia wydanego dla uczczenia znaleziska.

Lucy była młodą samicą z gatunku *Australopithecus afarensis* (nazwa ta oznacza południową małpę człekokształtną z Afary, regionu w Etiopii). Żyła 3,5 miliona lat temu. Przypuszcza się, że reprezentowała gatunek, który żył w grupach rodzinnych. Gatunek ten odznaczał się z całą pewnością postawą wyprostowaną. Odkrycie szkieletu Lucy w Etiopii było chyba największym znaleziskiem wśród szczątków kopalnych człowieka. Jest to także jeden z najbardziej kompletnych szkieletów naszego przodka, jakie posiadamy.

230 Prosta droga prowadząca do współczesnego człowieka zaczyna się od *Homo habilis* (człowieka zręcznego). Człowiek zręczny żył w Afryce w czasie od 2 do 1,5 miliona lat temu. Wytwarzał rozmaite narzędzia kamienne. Były wśród nich narzędzia do cięcia i skrobania, a także młotki do wyrabiania z krzemienia nowych narzędzi. Żył on w grupach łowieckich,

miał wzrost mniej więcej współczesnego dwunastolatka oraz duży mózg. Z racji podobieństwa do współczesnych ludzi został zaliczony do tego samego rodzaju (*Homo*).

231 Większość ze znanych wcześniej, sławnych szczątków kopalnych należała do *Homo erectus* (człowieka wyprostowanego). Ten nasz przodek żył od 1,5 miliona do 500 000 lat temu. Mózg miał większy niż *Homo habilis* i niewiele mniejszy niż człowiek współczesny. Najważniejsze jednak, że posługiwał się ogniem, czego nikt przed nim nie robił.

Kiedy po raz pierwszy zaczęto znajdować czaszki należące do praludzi, było ich tak mało, że każda otrzymywała swoją nazwę: człowiek jawajski, człowiek pekiński itp. W miarę jak zbiór rósł, dostrzegano podobieństwa między nimi i w końcu stwierdzono, że wszyscy ci rozmaicie nazywani „ludzie” są po prostu przedstawicielami tego samego gatunku *Homo erectus*.

232 W historii zdarzył się taki okres, że na scenie występowali jednocześnie różni „ludzie”. W Afryce 1,5 miliona

lat temu mogło żyć jednocześnie wielu różnych przedstawicieli naszego drzewa rodowego. Występowały tam wtedy dwa rodzaje: *Australopithecus* i *Homo*, a w każdym z nich po kilka gatunków. Musiało to być interesujące. Co się działo na przykład, kiedy wataha ludzi zręcznych spotykała stado australopiteków? Myślę, że znalazłby się tam materiał na wielką powieść.

233 Człowiek neandertalski nie był wcale prymitywny. Zaledwie kilkaset tysięcy lat temu pojawił się na scenie ktoś przypominający współczesnego człowieka. Był to człowiek neandertalski. Nadal toczą się spory, czy człowieka neandertalskiego należy zaliczyć do podgatunku *Homo sapiens* (*Homo sapiens neanderthalensis*), czy do oddzielnego gatunku (*Homo neanderthalensis*). Jasne jest jednak, że sto tysięcy lat temu Europa i Azja były zamieszkane przez plemiona istot bardzo podobnych do nas. Dość szeroko rozpowszechniony jest błędny obraz człowieka neandertalskiego jako powłóczęcej nogami, niezdarnej i brutalnej kreatury o bardzo niskiej inteligencji. W rzeczywistości człowiek neandertalski miał większy mózg

niż człowiek współczesny. Przypisany neandertalczykowi powłóczęczy chód wziął się stąd, że pierwszy zbadany szkielet należał do osobnika, który cierpiał na zaawansowany artretyzm i miał przygarbione plecy. Obecne rekonstrukcje neandertalczyka ukazują kogoś, kto prawdopodobnie nie zwróciłby na siebie uwagi w ruchliwym punkcie jakiegokolwiek dużego miasta. W dodatku neandertalczycy mieli rozwiniętą religię, grzebali zmarłych, a pod koniec swego panowania robili ozdoby i inne wytwory przypisane ludzkiej cywilizacji.

234 Jakie jest „najlepsze” wyjaśnienie pochodzenia neandertalczyka? Kiedy w 1856 r. po raz pierwszy odkryto szkielet neandertalczyka, Franz Meyer z uniwersytetu w Bonn orzekł, że szkielet należy do Kozaka, który umarł, ścigając Napoleona przez Europę. Nasz uczone profesor stwierdził, że mężczyzna ten cierpiał na krzywicę i stąd jego kabląkowane nogi, a ból spowodowany przez chorobę doprowadził do zrośnięcia brwi tworzących ciężki nawis. W jaki sposób ten ra-

chityczny Kozak wspiął się na trzydziestometrowe urwisko, aby dotrzeć do jaskini, gdzie zmarł, tego już nie wyjaśniono.

235 Neandertalczyk zniknął nagle w Europie około 35 000 lat temu, kiedy pojawił się na scenie człowiek z *Cro-Magnon*, tzn. my. Nie wiemy, dlaczego tak się stało, lecz wiemy, że wynikiem tego jest przetrwanie na Ziemi tylko jednego przedstawiciela rodzaju *Homo* i tylko jednego przedstawiciela rodziny człowiekowatych – *Homo sapiens*. Tak więc drzewo genealogiczne człowieka można sobie wyobrazić jako szereg eksperymentów, w wyniku których każda gałąź boczna wymiera, kiedy na scenie pojawia się nowy model, odnoszący większe sukcesy.

Tajemnica

236 Co zdarzyło się neandertalczykom? Powstało na ten temat kilka teorii: 1) neandertalczyk został zlikwidowany przez niebezpiecznych najeźdźców (naszych przodków); 2) neandertalczyk krzyżował się z no-

wo przybyłymi, co doprowadziło do tego, że człowiek współczesny ma w swoim dziedzictwie znaczny udział jego genów; 3) neandertalczyk nie był zdolny do konkurencji z nowo przybyłymi ani ekonomicznie, ani biologicznie i dlatego wyginął, podobnie jak wiele gatunków przed nim. Obecnie ta ostatnia opinia wydaje się najbardziej popularna wśród paleontologów, lecz moda w tej kwestii może się zmienić.

237 Sposób określenia przynależności systematycznej neandertalczyków ma wpływ na to, co się sądzi o przyczynach ich wyginięcia. Jeżeli jesteś zdania, że neandertalczyk był podgatunkiem *Homo sapiens*, to wydaje ci się rozsądny pogląd, że człowiek współczesny powstał w wyniku krzyżowania się neandertalczyka z człowiekiem z *Cro-Magnon*. Jeżeli natomiast neandertalczyk był osobnym gatunkiem, to taka teoria nie ma sensu. [Ale niezdolność do krzyżowania się nie jest bezwzględnym kryterium wyróżniania gatunków (zob. notki 128 i 133; przyp. red. nauk.).]

W latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych przeważała opinia, że był to podgatunek

i właśnie tego zapewne uczyłeś się w szkole. Ostatnio jednakże szala zaczyna się przechylać w drugą stronę. Nowym dowodem są odkrycia na stanowiskach środkowowschodnich, gdzie współczesny człowiek i neandertalczyk żyli obok siebie przez dziesiątki tysięcy lat, nie krzyżując się.

238 Nazwiska pojawiające się w nagłówkach gazet. Ludzie, o których najczęściej czytasz w publikacjach dotyczących ewolucji człowieka, to rodzina Leakeyów oraz Donald Johansson. Nieżyjący już Luis Leakey i jego żona byli pionierami paleontologii człowieka i odkryli sławne stanowisko w wąwozie Olduvai w Tanzanii. Ich syn Richard ma własne osiągnięcia. To właśnie Leakeyowie przyczynili się najbardziej do zdobycia wiedzy o australopittekach i *Homo habilis*.

Donald Johansson jest odkrywcą Lucy, najstarszej skamieniałości człowieka. Toczy on w środkach masowego przekazu wielką batalię z Richardem Leakeyem. Odkrycie Lucy daje w tym sporze przewagę Johanssonowi. Jeden

z jego kolegów mówi o nim: „Trudno zaufać paleontologowi, który nosi wykwintne mokasyny od Gucciego”.

którą nazwali Ewą. Żyła ona w Afryce około 200 tysięcy lat temu i była prababką nas wszystkich.

239 Wszyscy mamy tę samą prababkę. Jednym ze sposobów uzyskania informacji o ewolucji człowieka jest porównanie sekwencji DNA różnych grup ludzi. Kiedy uczeni zrobili to, odkryli, że wszyscy współcześni ludzie mogą uważać za swego przodka jedną jedyną kobietę,

240 Odnalezienie „pierwszego człowieka” jest marzeniem wielu paleontologów. Znalezienie kopalnych szczątków najstarszego hominida należącego do głównego pnia drzewa rodowego człowieka jest ważnym celem wielu ludzi prowadzących wykopaliska w terenie.

3

Biologia
molekularna

Związki chemiczne organizmów żywych

241 Wszystkie związki chemiczne, z których są zbudowane organizmy żywe, składają się głównie z sześciu pierwiastków chemicznych, tj. węgla, wodoru, azotu, tlenu, fosforu i siarki. Są to dość pospolite pierwiastki i były dostępne wtedy, kiedy powstało życie. Jestem wiele zobowiązany mojemu koledze Haroldowi Morowitzowi za wskazanie łatwej metody mnemotechnicznej zapamiętywania tych pierwiastków: CHNOPS.

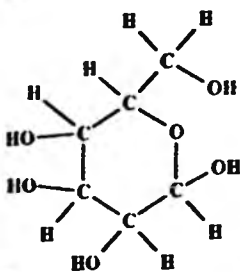
242 W organizmach żywych znajdują się cztery typy związków organicznych – węglowodany, białka, lipidy i kwasy nukleinowe. Każdy z nich ma odmienną budowę i odgrywa inną rolę. Węglowodany są nośnikami energii i składnikami strukturalnymi komórki. Białka umożliwiają przebieg reakcji biochemicznych i także są składnikami strukturalnymi. Lipidy stanowią ważny składnik błon komórkowych oraz magazyn energii. Kwasy nukleinowe (DNA i RNA) zawierają w sobie informację decydującą o działaniu komórki.

243 Duże cząsteczki związków organicznych w organizmach żywych mają budowę modułową i są połączone ze sobą za pomocą wiązań kowalencyjnych. Zbudowane są z określonego zestawu mniejszych cząsteczek połączonych ze sobą. Duże cząsteczki powstają z różnych kombinacji cegiełek elementarnych. Proszę sobie wyobrazić taką złożoną budowę jak drapacz chmur. Do jego budowy użyto wielu elementów, jak okna, belki i drzwi. W różnych budowlach takie same elementy są zestawione ze sobą inaczej. W ten sam sposób na przykład białka stanowią różne sekwencje aminokwasów. Rolę spoiwa w tym porównaniu odgrywają wiązania kowalencyjne, tj. typ wiązań, w których atomy mają wspólne elektrony.

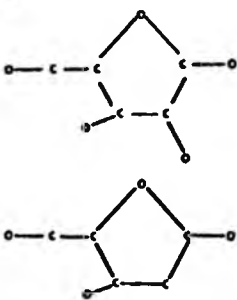
Węglowodany

244 Podstawowymi cegiełkami wielocukrów są cukry proste. Cząsteczka cukru ma budowę pierścieniową. W jej skład

wchodzą atomy węgla, tlenu i wodoru. Na rysunku pokazany jest cukier prosty - glukoza. Cukier ten pojawia się we wszystkich żywych komórkach. Ciało ludzkie używa go jako głównego materiału energetycznego. Istnieje wiele rodzajów cukrów i wszystkie mają podobną budowę.



Cząsteczka glukozy.



Rys. górny - ryboza, rys. dolny - dezoksyryboza.

Cząsteczki mogą mieć tę samą liczbę atomów węgla, tlenu i wodoru, lecz atomy te mogą być różnie względem siebie ustawione. Cząsteczki z tym samym kompletem atomów i różnym ich ustawieniem są nazywane izomerami.

Następnym ważnym cukrem jest ryboza (rys. górny). Jeżeli z rybozy zostanie usunięty jeden atom tlenu, tak jak pokazano na dolnym rysunku, powstanie wtedy cząsteczka, która jest rybozą bez tlenu, czyli dezoksyrybozą.

245 Cukry proste łączą się ze sobą, tworząc cukry złożone. Wiązanie między cukrami prostymi powstaje wtedy, kiedy atom wodoru z końca jednej cząsteczki połączy się z grupą hydroksylową znajdującą się na końcu drugiej cząsteczki, dając cząsteczkę wody i pozostawiając dwa pierścienie cukrowe, połączone ze sobą pojedynczym atomem tlenu. Sacharoza (zwyczajny cukier spożywczy) to powstałe w powyższy sposób połączenie glukozy i fruktozy (cukru znajdującego się zwykle w owocach). Związki zbudowane z dwóch cukrów prostych chemicy nazywają dwucukrami.

246 Skrobia i celuloza są zbudowane z szeregu cukrów. Jeżeli będziemy przyłączać do siebie cząsteczki glukozy, to w końcu otrzymamy skrobię lub celulozę - zależnie od tego, z którego miejsca pierścienia weźmiemy atom wodoru i grupę hydroksylową. Skrobia jest wykorzystywana przez żywe organizmy jako związek magazynujący energię, podczas gdy celuloza jest głównym budulcem ścian komórek roślinnych. Celuloza jest również podstawowym włóknem tkanin naturalnych - stanowi na przykład ponad 90 procent bawełny.

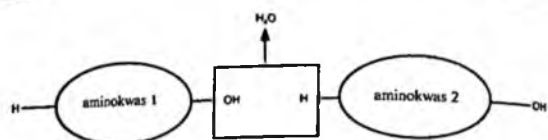
lepiej, jak rozmaite rzeczy można otrzymać drogą modułowego zestawienia małych cząsteczek.

248 Termin „węglowodany” odnosi się do związków utworzonych przez łączenie się cukrów, tzn. do związków o składzie $C_nH_{2m}O_m$. Termin ten obejmuje cukry proste (jak glukoza), związki utworzone z kilku cukrów (jak sacharoza), a także związki złożone z wielu cukrów (jak skrobia i celuloza). Dla takich związków jak celuloza chemicy mają nazwę - wielocukry (polisacharydy).

247 Wbrew podobieństwu budowy celuloza i skrobia mają całkowicie różne właściwości chemiczne. Na przykład organizm człowieka trawi skrobię, a nie trawi celulozę - jest to przyczyną określenia selera niestrawnym. Zwierzęta, takie jak krowy, muszą mieć swoje własne mikroorganizmy po to, aby rozłożyły im celulozę. Fakt, że kosztuje w twojej szafie, seler w salacie i układ magazynowania energii w twoim ciele składają się z glukozy związanej ze sobą na różne sposoby, ilustruje naj-

Białka

249 Aminokwasy to cegiełki elementarne, z których są zbudowane białka. Ogólna budowa cząsteczek tych związków jest prosta. Na jednym końcu cząsteczki aminokwasu znajduje się atom azotu z przyłączonymi do niego dwoma atomami wodoru (jest to grupa aminowa, od której związki te otrzymały swoją nazwę). Miejsce obok grupy aminowej zajmuje grupa atomów, które



Dwa aminokwasy zapoczątkują łańcuch białka.

są dla każdego aminokwasu inne, i wreszcie, na drugim końcu cząsteczki, jest grupa COOH.

Każda z bardzo ważnych cząsteczek nazywanych białkami jest utworzona z łańcuchów aminokwasów połączonych ze sobą jak słonie idące w procesji. Proces powstawania białka jest pokazany na rysunku.

Kiedy spotkają się ze sobą dwa aminokwasy, to wodór z jednego połączy się z wodorem i tlenem pochodzącym z drugiego aminokwasu i utworzą cząsteczkę wody. W wyniku tej reakcji powstanie dłuższa cząsteczka składająca się z dwóch aminokwasów. To wyciśnięcie cząsteczki wody umożliwia zetknięcie się aminokwasów, a powstałe między nimi połączenie nazywane jest wiązaniem peptydowym.

Ogromna różnorodność białek istniejąca w naturze mogła powstać dzięki temu, że każda sekwencja aminokwasów odpowiada innemu białku. Białka mają

różne rozmiary, od mniej niż stu aminokwasów, jak na przykład insulina, do setek tysięcy. Największe cząsteczki białka składają się z milionów różnych atomów.

250 Białka określają naszą tożsamość biochemiczną i są siłą napędową chemii komórkowej. Działają jako enzymy we wszystkich złożonych reakcjach chemicznych zachodzących w komórkach twojego ciała. Inne białka stanowią elementy strukturalne, na przykład z cząsteczek białka zbudowane są włosy i paznokcie.

251 W skład białek wszystkich żyjących na Ziemi organizmów wchodzi tylko dwadzieścia aminokwasów. Każda cząsteczka białka, jaka może pojawić się w dowolnym żywym organizmie na naszej planecie, jest zbudowana z pewnej kombinacji podstawowych dwudzie-

tu aminokwasów, mimo że w laboratoriach otrzymuje się o wiele więcej rodzajów aminokwasów. Nazwy tych dwudziestu podstawowych aminokwasów są następujące:

glicyna, alanina, walina, leucyna, izoleucyna, seryna, treonina, kwas asparaginowy, kwas glutaminowy, lizyna, arginina, asparagina, glutamina, cysteina, metionina, fenyloalanina, tyrozyna, tryptofan, histydyna, prolina.

253 Białka mają złożoną, wielorzędową strukturę. Sekwencja aminokwasów ułożonych wzdłuż łańcucha stanowi pierwszorzędową strukturę białka. Lecz łańcuch aminokwasów nie będzie po prostu leżał jak kawałek sznurka.

Niektóre z aminokwasów mogą tworzyć wiązania albo z cząsteczkami z własnego łańcucha, albo z innego. W wyniku tego białka przybierają „strukturę drugorzędową”, jak na przykład spirala zbudowana z pojedynczej cząsteczki (można ją znaleźć w białkach występujących we włosach, paznokciach czy w wełnie), oddzielne łańcuchy połączone ze sobą w różnych punktach na swojej długości (dobrym przykładem jest jedwab) lub oddzielne łańcuchy okręcone wokół siebie jak kabel czy lina (tak jak w ścięgnach albo chrząstkach).

W bardzo dużych białkach węzły i skręty związane ze strukturą drugorzędową występują tylko w pewnych odcinkach łańcucha. Stąd różne rodzaje struktur drugorzędowych w różnych odcinkach łańcucha. Taki cały łańcuch wraz ze swymi drugorzędowymi strukturami może zostać upakowany, złożyć się w większą formę, zwaną strukturą trzeciorzędową.

Tajemnica

252 Dlaczego właśnie tych dwadzieścia aminokwasów? Powstały na ten temat dwie hipotezy. Jedna głosi, że jest to w zasadzie przypadek. Można ją nazwać hipotezą utrwalonego przypadku. Według drugiej istnieje jakieś prawo, jeszcze nie znane, według którego te właśnie szczególne aminokwasy stanowią kombinację optymalną dla organizmów żywych. Jest to hipoteza prawa biochemicznego. Osobiście skłaniam się ku hipotezie utrwalonego przypadku, lecz nie byłbym zdziwiony, gdyby okazało się, że to oponenti mają rację.

Najważniejsze białka przybierają kształty nieregularne, choć zasadniczo kuliste – tzw. białka globularne.

254 Dlaczego jedwab jest elastyczny, a wełna się rozciąga? W jedwabiu łańcuchy białka biegną w tym samym kierunku co włókna. Kiedy próbujesz rozciągać materiał, to starasz się rozetrwać wszystkie wiązania kowalencyjne utrzymujące łańcuch w całości – ciężka praca. Kiedy jednak składasz materiał, działasz przeciwko słabym siłom działającym między łańcuchami, co wymaga znacznie mniejszego wysiłku. Kiedy natomiast rozciągasz wełnę, to rozciągasz spiralę cząsteczki białka, jest to operacja podobna do rozciągania sprężyny (bez jej rozrwaniania).

255 Złożona, skłębiona, ze wewnętrzną powierzchnią cząsteczki białka globularnego sprawia, że jest ono idealne do tego, by pełnić funkcję enzymu. Jedna z cząsteczek biorących udział w reakcji będzie pasować

do jednej doliny na powierzchni białka, druga cząsteczka do doliny sąsiedniej. W ten sposób białko zbliży do siebie dwie cząsteczki i utrzyma je, dopóki nie utworzy się między nimi nowe wiązanie chemiczne. Nowo utworzona cząsteczka nie pasuje już do białka, więc oddala się, pozostawiając białko gotowe do powtórzenia tego procesu. Jest to sposób, w jaki białko może wykonywać swoją chemiczną pracę w komórce, nie zużywając się jednocześnie.

Tajemnica

256 Dlaczego białka mają takie właśnie kształty? Faktem jest, że jeżeli powiesz chemiczowi, jaka jest kolejność aminokwasów w białku, to nie będzie mógł przewidzieć jego struktury trzeciorzędowej. Powód tej porażki jest nietrudny do zrozumienia – w cząsteczce białka zachodzi tak wiele oddziaływań między atomami, że prześledzenie ich przekracza możliwości największych komputerów. Obliczenie struktury białka pozostaje jednym z głównych nie rozwiązanych problemów biofizyki.

Lipidy

257 Kiedy mówimy o tłuszczach i olejach, to stajemy przed oczami trzecia ważna klasa związków organicznych organizmów żywych – lipidy (tłuszczoce). Najprostsze lipidy są zbudowane z atomów węgla, wodoru i tlenu (choć proporcje nie są tak ściśle jak w węglowodanach). Niektóre lipidy są składnikami błon komórkowych, inne są substancjami magazynującymi energię, a jeszcze inne pełnią różnorodne funkcje biologiczne.

Technicznie lipidy to substancje, które można łatwo ekstrahować z tkanek rozpuszczalnikami organicznymi i które nie rozpuszczają się w wodzie. Ta luźna, nie wiążąca definicja tłumaczy, dlaczego tak wiele różnorodnych cząsteczek zalicza się do tej grupy związków.

258 Lipidy bardzo wydajnie magazynują energię. Gro madzą niemal dwa razy tyle energii co równe wagowo ilości węglowodanów. Jest to powód używania ich do magazynowania energii przez wszystkie zwierzęta i część roślin. Kiedy pofolgujesz sobie i nadmiernie utyjesz, ciało

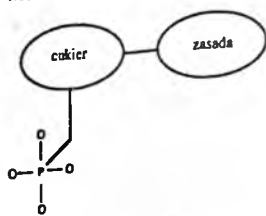
zachowa pobraną w pożywieniu energię w postaci tłuszczu do czasu, kiedy będzie ci ona potrzebna. Niektóre rośliny używają lipidów do magazynowania energii (przykładem lipidu roślinnego jest oliwa z oliwek), lecz większość wykorzystuje do tego celu węglowodany. Powód być może jest taki, że rośliny nie poruszają się, więc nadmierna waga nie jest dużym obciążeniem dla ich metabolizmu.

259 Lipidy obejmują po-
kajną grupę cząsteczek. Testosteron i estrogen (męskie i żeńskie hormony człowieka), cholesterol, witamina D i kortyzon – to wszystkie są lipidy.

Kwasy nukleinowe

260 DNA i RNA to dwa rodzaje kwasów nukleinowych. Składają się z nukleotydów. Kwasy nukleinowe, podobnie jak białka, są zbudowane z powtarzających się prostych elementów składowych. Cegielki użyte do budowy DNA i RNA to nukleo-

tydy. Nukleotyd, jak przedstawiono na rysunku, składa się



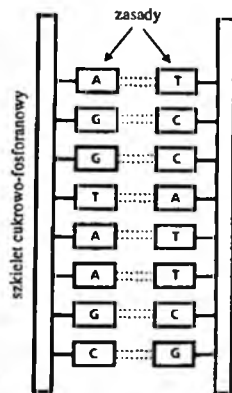
Nukleotyd.

z cukru, do którego jest przyłączona zasada oraz grupa złożona z atomu fosforu i czterech atomów tlenu. Każdy rodzaj kwasu nukleinowego ma inny cukier, a w danym kwasie nukleinowym nukleotydy mają różne zasady.

Pojedyncze nukleotydy są proste, jednak może być z nich zbudowana duża cząsteczka, podobnie jak najwyższy nawet drapacz chmur buduje się z różnych rodzajów cegieł.

261 Dezoksyryboza jest cukrem stanowiącym zasadniczy materiał budowlany DNA. Od tego cukru pochodzi nazwa „kwas dezoksyrybonukleinowy”. W nukleotydach, z których jest zbudowany DNA, mogą znajdować się następujące zasady: adenina (A), tymina (T), guanina (G) i cytozyna (C).

Cząsteczka DNA jest utworzona z dwóch nici nukleotydów. Zasady łączą się ze sobą w poprzek nici, podczas gdy cukry i grupy fosforanowe wiążą się ze sobą wzdłuż nici. Cząsteczkę DNA najłatwiej można sobie wyobrazić jako drabinę. Cukry i reszty fosforanowe stanowią jej boki, a wiązania między zasadami – szczeble. Istnieją tylko dwa rodzaje szczebli: wiązanie między A i T oraz wiązanie pomiędzy G i C. Budowa zasad nie pozwala na tworzenie się innych wiązań. Jeżeli teraz wyobrazisz sobie, że tę świeżo zbudowaną drabinę skręcisz, to już masz osławioną podwójną helisę. Typowa cząsteczka DNA składa się z milio-



Struktura podwójnej helisy DNA.

nów nukleotydów. Kod genetyczny jest sekwencją zasad ułożonych wzdłuż „drabiny” DNA.

262 Cząsteczka RNA, podobnie jak DNA, jest zbudowana z nukleotydów, w skład których wchodzi cukier, grupa fos-

foranowa i zasada. Różni się od DNA tym, że ma tylko jedną nić (pół drabiny), a cukrem jest ryboza zamiast dezoksyrybozy. Zasady są te same, z wyjątkiem tyminy (T), której miejsce zajmuje inna zasada – uracyl (U), tworząca wiązanie z adeniną (A).

Kod genetyczny

263 Wszystkie organizmy żywe na Ziemi mają tylko jeden kod genetyczny. Kod genetyczny, umożliwiający wyjaśnienie praw dziedziczenia, jest zawarty w sekwencji par zasad w DNA. Zasady stanowiące szczeble drabiny DNA są wyposażeniem genetycznym organizmu i każdy osobnik ma inną sekwencję tych zasad. Tak więc każdy gatunek różni się od wszystkich innych gatunków i każdy osobnik od wszystkich innych osobników, mimo że wszyscy mają w swoim układzie rozrodczym ten sam rodzaj cząsteczki (DNA). Kod genetyczny może być porównany z innymi kodami. Na przykład alfabet Morse’a jest prostym układem kropek i kre-

sek, jednak za jego pomocą może być przestana nieskończona ilość informacji. W podobny sposób kod genetyczny może przekazać informację, która spowoduje wyprodukowanie kapusty albo króla.

Replikacja DNA

264 Pierwszym etapem przekazywania informacji genetycznej jest podwojenie DNA w komórce macierzystej. Każda żywa komórka zawiera w sobie DNA, aby jednak mogła się rozmnożyć, musi się w niej podwoić ilość DNA, żeby starczyło go i dla komórki macierzystej, i dla poto-

mnej. Proces ten zostanie prześlędzony w kolejnych etapach.

Etap 1. Rozdzielenie. Wzdłuż drabiny DNA przesuwają się specjalny enzym, przerywając wiązania stanowiące jej szczeble – ta część procesu replikacji wygląda, jakby ktoś szedł po drabinie i piłą przecinał szczeble w połowie. W wyniku rozdzielenia powstaną dwie pojedyncze nici pierwotnej cząsteczki DNA.

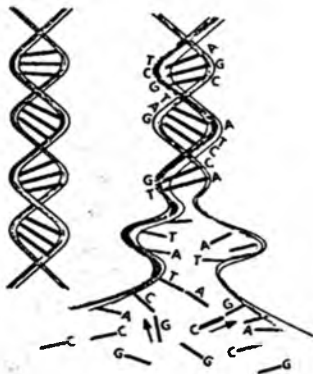
Etap 2. Odbudowanie. Nukleotydy, poruszające się swobodnie w karioplazmie, są łapane przez wolne wiązania na szczeblach pojedynczych nici i w ten sposób jest odtwarzana brakująca połowa drabiny pierwotnej. Jeżeli na przykład na nici DNA jest wolna zasada A, to naturalnie przyciągnie ona nukleotydy posiadający zasadę T i powstanie wiązanie.

Proces ten doprowadzi do replikacji szczebla drabiny pierwotnej. Odtwarzanie szczebli odbywa się na obu niciach pierwotnej cząsteczki DNA. Stopniowo każda nici przeprowadzi rekonstrukcję drugiej brakującej nici. W wyniku tego procesu jedna cząsteczka przekształca się w dwie – identyczne.

To proste i sprawne rozdzielanie i odbudowanie cząsteczki

DNA, oparte na dwóch rodzajach wiązań między czterema zasadami, wyjaśnia wszystko, co wiemy o genetyce. Ta jedność w różnorodności – jedność procesu, różnorodność form – jest jedną z najbardziej zdumiewających prawidłowości w nauce.

265 Proces replikacji DNA jest w rzeczywistości bardziej skomplikowany, niż przedstawiono wyżej. Przede wszystkim DNA nie rozdziela się od razu w całości. Wzdłuż jego cząsteczki przesuwają się enzymy i „rozplata” jeden lub kilka odcinków jednocześnie. Odcinki te replikują się, a enzymy przesuwają dalej, kontynuując rozdzielanie. W ten sposób cząsteczka przechodzi przez



Replikacja DNA.

cały proces przekształcenia, nigdy całkowicie nie uwalniając żadnej z części. W procesie tym biorą także udział specjalne enzymy, które wiążą w zwarte drabiny nukleotydy przyłączone do każdej z pierwotnych nici. Prace nad poznaniem szczegółów replikacji DNA są nadal jednym z głównych obszarów zainteresowań nowoczesnej biologii molekularnej.

Synteza białek

266 DNA rządzi syntezą białek w komórce. Kolejność zasad w DNA (kod genetyczny) decyduje, które białka zostaną utworzone i jak będzie działać komórka. Własności każdego białka zależą od sekwencji aminokwasów. Kod genetyczny jest związkiem między kolejnością zasad w DNA a kolejnością aminokwasów w białku, które powstaje na podstawie instrukcji zawartej w DNA. Innymi słowy, kod tłumaczy informację zawartą w DNA na strukturę białka, które działa w komórce jako enzym.

267 Kod genetyczny zapisany jest trójkami. Rozległe badania wykazały, że o pozycji

jednego aminokwasu w białku decyduje odcinek nici DNA składający się z trzech zasad, noszący nazwę kodonu.

268 Aby na podstawie sekwencji zasad w DNA powstało białko, muszą być wykonane trzy podstawowe czynności.

1. Skopiowanie informacji z DNA na jakąś cząsteczkę, która następnie przeniesie tę informację do miejsca w komórce (zwykle na zewnątrz jądra), gdzie będzie zachodziła synteza białka.

2. Przetworzenie informacji z cząsteczki, która ją przeniosła, na sekwencje aminokwasów w powstającym białku.

3. Utrzymanie razem długich i niezgrabnych cząsteczek biorących udział w procesie do czasu zakończenia syntezy białka.

Każde z tych trzech zadań wykonują inne rodzaje RNA.

269 Pierwszym etapem syntezy białka jest utworzenie się informacyjnego RNA (mRNA). Przebiega on następująco. Dwie nici cząsteczki DNA otwierają się na pewnym odcinku swojej długości. Tak samo jak w przypadku replikacji DNA (patrz wyżej) zasady z przerwanych szczebli przyciągają nukleotydy swobodnie

plywające w komórce, tylko tym razem są to nukleotydy RNA (a nie DNA). Sekwencja zasad w DNA jest skopiowana jako „negatyw” na cząsteczkę RNA, która następnie oddala się. Utworzony w ten sposób RNA jest nazywany informacyjnym RNA (mRNA) z powodów, które staną się oczywiste za chwilę, a proces powstawania jego cząsteczki nazwany został transkrypcją.

270 Informacyjny RNA wynosi informację pochodzącą od DNA poza jądro komórkowe. Większość procesów syntezy białek zachodzi w cytoplazmie, a nie w jądrze, gdzie ulokowany jest DNA. W błonach jądra komórkowego znajdują się pory, które przepuszczają cząsteczki mRNA, lecz są zbyt małe, aby mógł przez nie wypłynąć DNA. Cząsteczka mRNA umożliwia komórce wytwarzanie białka w innym miejscu, niż jest przechowywana informacja. Można wyobrazić sobie, że cząsteczka mRNA jest podobna do dyskietki używanej w fabryce. Dyskietka, przygotowana w biurze przez programistów komputerowych, jest następnie przeniesiona do ha-

li fabrycznej i umieszczona w maszynie. Maszyna podejmuje produkcję według instrukcji umieszczonej na tej dyskietce.

271 W mRNA jest zapisana pewna informacja. Załóżmy, że w pewnym miejscu cząsteczki DNA znajduje się sekwencja zasad TTC. Zasadą komplementarną do T jest A, a zasadą komplementarną do C jest G. Dlatego sekwencji TTC w DNA będzie odpowiadać sekwencja AAG w cząsteczce RNA.

Ta właśnie trójka nukleotydów w DNA odpowiada za powstanie w tworzącym się białku jednego określonego aminokwasu – lizyny.

Pytanie

Co odpowiada kodonowi ATG w cząsteczce mRNA? Odpowiedź: UAC.

272 Kod genetyczny jest niejednoznaczny. Z czterech nukleotydów, z których jest zbudowany DNA, można skonstruować sześćdziesiąt cztery różne kodony ($4 \times 4 \times 4$). W białkach wszy-

stkich żywych organizmów znajduje się tylko dwadzieścia aminokwasów. Dlatego kod jest niejednoznaczny. Jeżeli na dwadzieścia aminokwasów przypadają sześćdziesiąt cztery kodony, to część aminokwasów z pewnością jest zapisana za pomocą kilku kodonów.

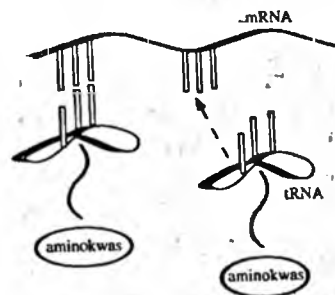
Niektóre aminokwasy są zakodowane przez cztery trójki (kodonu) w mRNA, lecz rekordzistką jest leucyna, której odpowiada aż sześć trójek, są to UUA, UUG, CUU, CUC, CUG i CUA.

Pytanie

Dlaczego kod genetyczny powinien być niejednoznaczny? Odpowiedź: Z tego samego dokładnie powodu, z jakiego statki kosmiczne wyposażone są w systemy wspierające – nigdy nie zaszkodzi zabezpieczyć się przed możliwością popelnienia błędu.

273 Gromadzenie składników białka to czynność wykonywana przez transportujący RNA. Kiedy informacyjny RNA przybywa na miejsce, gdzie zachodzić będzie synteza białka, rozpoczyna działalność inny rodzaj RNA – transportujący

(tRNA). Tak jak to pokazano na rysunku, cząsteczka tRNA ma kształt liścia koniczyny. Na jego górnej części są trzy zasady (antykodon) komplementarne do kodonu w mRNA, a jego przeciwny koniec przyciąga specyficzny aminokwas. Istnieje wiele typów tRNA – po jednym dla każdego z sześćdziesięciu czterech możliwych kodonów. Każda cząsteczka tRNA jest przyciągana do odpowiedniego kodonu wzdłuż mRNA. Na przykład cząsteczka tRNA z antykodonom UUC ustawia się naprzeciwko AAG w mRNA. Na drugim końcu tej właśnie cząsteczki tRNA znajduje się miejsce, do którego jest przyłączony aminokwas lizyna (patrz rysunek).



Synteza białka. Kod zapisany w mRNA (górze) jest przetworzony na odpowiednią sekwencję aminokwasów (dół) za pomocą cząsteczek tRNA.

Sukcesywne dopasowywanie tRNA załadowanych aminokwasami do odpowiednich kodonów w mRNA prowadzi za pośrednictwem różnych enzymów do powstania białka. Sekwencja aminokwasów w białku dokładnie odpowiada sekwencji zasad w DNA. Sekwencja aminokwasów decyduje o kształcie cząsteczki białka, a kształt decyduje o tym, jak dane białko będzie się zachowywało jako enzym. Tak więc DNA rozstrzyga, jakie reakcje chemiczne będą zachodziły w komórce, a więc jaka będzie natura samej komórki.

Informacja zawarta w kodzie genetycznym jest przenoszona z DNA do mRNA, tRNA i wreszcie do białek. Kod jest prosty, choć cała operacja bardzo złożona.

274 Wszystkie składniki potrzebne do syntezy białka są utrzymywane na rybosomach, by kolejne etapy tego procesu przebiegały właściwie. Rybosom można sobie wyobrazić jako parę dużych kul złączonych ze sobą. Mają one wyżłobienia w kształcie umożliwiającym zatrzymanie

właściwej cząsteczki. Każdy rybosom ma budowę odpowiednią do produkcji wszystkich białek. W skład rybosomów wchodzi trzeci rodzaj RNA, zwany rybosomowym RNA (rRNA). Wewnątrz masywnej, podwójnej struktury, na której zachodzi synteza białka z aminokwasów, rybosom unieruchamia około pięćdziesięciu różnych rodzajów białek. W żywej komórce kilka rybosomów może jednocześnie produkować białko na jednej cząsteczce mRNA stanowiącej matrycę. Wygląda to tak, jakby taśma mRNA była „uchwycona” w kilku miejscach. Można również napotkać inną sytuację, a mianowicie: koniec matrycowego RNA jest ciągle jeszcze przepisywany z głównej cząsteczki DNA, podczas gdy środkowa część mRNA jest odczytywana i ulega translacji na sekwencje aminokwasów w kilku rybosomach, a początek powstającego białka już zaczyna się skręcać. W tej sytuacji wszystkie omawiane przez nas procesy prowadzące od DNA do białka zachodzą jednocześnie.

Genetyka molekularna

275 Geny to sekwencje par zasad w cząsteczce DNA, przy czym jeden gen koduje jedno białko. Kiedy Gregor Mendel wprowadził termin gen na oznaczenie podstawowej jednostki dziedziczenia, nie miał pojęcia, co też to może być. Dzisiaj identyfikujemy gen jako odpowiedni odcinek cząsteczki DNA. Pojedynczy gen może mieć od kilku tuzinów do kilku tysięcy par zasad. Informacja zawarta w jednym genie jest przekształcona w sekwencję aminokwasów odpowiadających jednemu białku. Białko z kolei działa jako enzym tylko w jednej reakcji chemicznej w komórce. Reguła – jeden gen to jedno białko – stanowi podstawę współczesnej biologii molekularnej.

276 Na nici DNA jest dość miejsca dla wielu genów, a ułożenie ich jest inne dla każdego gatunku. Długość genu zależy oczywiście od stopnia kompleksowości zakodowanej w nim cząsteczki białka. Między genami (a czasami wewnątrz nich) często

znajdują się odcinki DNA, których funkcji jeszcze nie znamy. W pewnych organizmach napotkano nawet geny nakładające się na siebie. Pełna informacja genetyczna organizmu nazywana jest genomem. Genom człowieka zawiera około stu tysięcy genów. Pewne pojęcie o złożoności naszego genetycznego dziedzictwa może dać uświadomienie sobie, że każda komórka w twoim ciele zawiera DNA, w którym jest dość informacji do wyprodukowania stu tysięcy różnych białek, a każde z nich jest zdolne do pośredniczenia w rozmaitych reakcjach chemicznych.

Organizmy różnią się stopniem złożoności, nie mają więc takiej samej liczby genów. I ty, i inne istoty ludzkie posiadacie około stu tysięcy genów. Prosta bakteria może mieć ich tylko kilka tysięcy (*E. coli* na przykład ma około czterech tysięcy genów).

277 Dziewięćdziesiąt pięć procent DNA nie koduje białek. Chociaż naczelną regułą „jeden gen, jedno białko” stano-

wi podstawę nowoczesnej biologii molekularnej, to jest również prawdą, że genom przyporządkowane jest tylko 5 procent całej cząsteczki DNA. Pozostała część DNA uważana była za nieaktywną, lecz obecnie wielu biologów uważa, że zawiera ona informacje, kiedy które geny mają być uruchomione.

278 Każdy chromosom jest inną nicią DNA. Każdy z czterdziestu sześciu chromosomów w twoich komórkach zawiera inną nić DNA – tzn. nić DNA z inną sekwencją par zasad. Tak więc komplet genów rozłożony jest między wszystkie chromosomy, a nie zgrupowany w jednym.

279 Nie wszystkie geny są aktywne przez cały czas. Aktywność i produkowanie białek przez gen jest nazywane ekspresją genu.

Tylko kilka tysięcy genów może działać jednocześnie, pozostałe są nieaktywne. Na przykład każda komórka posiada gen, który umożliwia jej produkcję insuliny, lecz gen ten jest aktywny tylko w komórkach trzustki.

Tajemnica

280 W jaki sposób geny podczas rozwoju organizmu wiedzą, kiedy się włączyć, a kiedy wyłączyć? Ponieważ wszystkie komórki twojego ciała powstały z podziału zygoty, wszystkie muszą zawierać dokładnie tę samą informację genetyczną. Komórki te różnią się jednak bardzo budową i pełnionymi funkcjami. Jak to się dzieje, że identyczny DNA doprowadził do powstania tak bardzo różniących się od siebie komórek?

Materiał genetyczny zawarty w zygocie daje powstałym z niej komórkom możliwość rozwinięcia się w każdą komórkę ciała. W trakcie rozwoju embrionalnego komórki tracą tę zdolność. Oznacza to, że od pewnego momentu rozwoju muszą już stać się częścią określonego organu i będą się rozwijać w tym kierunku, niezależnie od tego, co się z nimi stanie. Na kolejnym etapie rozwoju komórki stają się zróżnicowane, tzn. pełnią określone funkcje i różnią się budową od innych. O procesie różnicowania wiemy tylko tyle, że ma coś wspólnego z sekwencjami, za pomocą któ-

rych geny są włączane i wyłączane podczas rozwoju komórki.

W latach osiemdziesiątych całą dziedziną badań nad genami wstrząsnęło odkrycie krótkiej sekwencji DNA znajdującej się przed genem, który włącza się tylko w okresie embrionalnym, a później pozostaje nieaktywny. Sekwencja ta, zwana homeobox, została po raz pierwszy znaleziona u muszek owocowych. Później odkryto ją także u ludzi. Badacze mogą obecnie śledzić u muszek owocowych wiele sekwencji genów włączających i wyłączających, lecz badania tych sekwencji u człowieka ciągle są jeszcze przed nami.

w procesach rozwoju i różnicowania komórek w organizmie, lecz także w trakcie normalnej pracy komórki.

Istnieje kilka mechanizmów regulacji ekspresji genów. Produkcja określonego białka może być kontrolowana za pomocą regulacji: 1) szybkości transkrypcji mRNA; 2) szybkości rozpadu mRNA; 3) szybkości, z jaką RNA przeistoczy się w białko; 4) szybkości rozpadu utworzonych cząsteczek białka. W żywych komórkach, w różnych sytuacjach, działają wszystkie te mechanizmy.

282 Jednym z dobrze poznanych mechanizmów regulacji ekspresji genów jest proces kontrolowania produkcji mRNA. W kilku przypadkach możliwe jest znalezienie w DNA rejonu, tuż przed genem, noszącego nazwę promotora, który służy jako miejsce przyłączenia się specjalnego białka represorowego. Białko to zapobiega „rozpleceniu” cząsteczki DNA i w ten sposób wstrzymuje transkrypcję mRNA na odcinku DNA zajmowanym przez dany gen, a więc wstrzymuje także syntezę białka kodowaną przez ten gen. Kiedy represor

Regulacja ekspresji genów

281 Działanie komórki zależy w sposób zasadniczy od regulacji aktywności (ekspresji) genów. Proces włączania i wyłączania genów (tzn. proces sprawiania, że gen produkuje białko lub go nie produkuje) nazwany został regulacją ekspresji genów. Regulacja jest ważna nie tylko

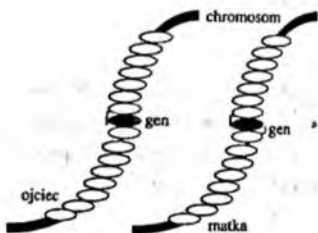
zostanie usunięty, gen będzie funkcjonował normalnie, lecz gdy wróci na swoje miejsce, gen się wyłączy.

Najlepszy przykład tego rodzaju pobudzenia genu można znaleźć w *E. coli* (a gdzież by indziej?). Żyjąc w twoim jelicie, bakteria *E. coli* znajduje się w otoczeniu, gdzie źródła energii zmieniają się drastycznie w krótkim odstępie czasu. Jeżeli na przykład wypijesz trochę mleka, bakteria może nagle potrzebować enzymów, które pozwolą jej strawić laktozę, czyli cukier znajdujący się w mleku. Proces regulacji przebiega następująco. Jeżeli w otoczeniu nie ma laktozy, to represor jest przyłączony do miejsca, gdzie w DNA znajduje się promotor, co wstrzymuje produkcję enzymów umożliwiających trawienie laktozy. Kiedy w otoczeniu zaczyna się pojawiać laktoza, to represor łączy się z laktozą i odłącza się od DNA. W tym momencie następuje włączenie genów i rozpoczyna się synteza enzymów niezbędnych do trawienia laktozy. Kiedy enzymy przetwarzające laktozę wykonają już swoje zadanie i ilość laktozy w komórce spadnie, to represor ponownie przyłączy się do DNA i produkcja tych enzymów ustanie.

Biologia molekularna i genetyka klasyczna

283 Współczesna biologia molekularna wyjaśnia wyniki prac Mendla. Każde z jego praw może być powiązane z działaniem poszczególnych genów ułożonych wzdłuż cząsteczek DNA. Zdobyć tej wiedzy jest jednym z największych osiągnięć dwudziestowiecznej nauki.

Materiał genetyczny jest zawarty w cząsteczkach DNA, a te z kolei znajdują się w chromosomach. I w jajku, i w plemniku znajduje się połowa chromosomów niezbędnych do utworzenia normalnej komórki. Kiedy jajo łączy się z plemnikiem, to chromosomy łączą się w pary i każda



Każdy gen jest odcinkiem DNA na chromosomie.

para ma po jednym chromosomie od każdego z rodziców. Odpowiadające sobie geny leżą naprzeciw siebie na chromosomach tworzących parę, tak jak pokazano na rysunku.

284 O płci potomstwa u człowieka decyduje obecność chromosomów znanych jako X i Y. W ciele kobiety komórki jajowe mają po jednym chromosomie X, a wszystkie pozostałe komórki po dwa chromosomy X. W ciele mężczyzny produkowane są dwa rodzaje plemników: plemniki z chromosomem X i plemniki z chromosomem Y. Oba rodzaje plemników występują w nasieniu w jednakowych ilościach. Wszystkie pozostałe komórki w ciele mężczyzny mają po dwa różne chromosomy X i Y. Jeżeli jajo zostanie zapłodnione przez plemnik zawierający chromosom Y, to poczęty będzie potomek męski. Dziewczynka urodzi się, kiedy jajo zostanie zapłodnione przez plemnik z chromosomem X. Tak więc tylko ojciec ma wpływ na płeć dziecka – jest to fakt, którego nie są świadomi mężczyźni w wielu kulturach patriarchalnych. Jest w nich cenione tylko męskie potomstwo, a za rodzenie

dziewczynek winą obarczane są kobiety.

285 Istnienie cech recesywnych i dominujących może być wyjaśnione za pomocą genetyki molekularnej. Jedyny sposób, w jaki mogą się ujawnić cechy recesywne lub dominujące, jest następujący. Geny cechy dominującej powodują produkcję pewnego enzymu, natomiast geny recesywne tego enzymu nie wytwarzają. Jeżeli więc dostałeś od rodziców po jednym genie każdego rodzaju, to każda komórka będzie wyposażona w jeden gen dominujący i jeden recesywny. W tym przypadku enzym będzie produkowany (choć tylko z jednego chromosomu), a więc ujawni się cecha dominująca. Cecha recesywna pojawia się w organizmie tylko wtedy, kiedy oba chromosomy zawierają geny recesywne i wówczas enzym nie będzie produkowany.

286 Mutacja powstaje wtedy, kiedy jakiś odcinek DNA jest źle skopiowany i w kodzie genetycznym pojawia się inna zasada. Sytuacja taka może powstać na przykład wskutek wpły-

wu środków chemicznych, promieniowania czy ciepła. Błąd w kopiowaniu może także powstać samorzutnie. Pewne mutacje nie są istotne, ponieważ kod genetyczny jest niejednoznaczny. Jeżeli na przykład na nici DNA znajduje się sekwencja AAT odpowiadająca za pojawienie się w białku aminokwasu – leucyny, i zostanie ona z powodu błędu skopiowana jako AAC, organizmowi nie sprawi to żadnej różnicy, ponieważ AAC też jest kodem leucyny.

Manipulowanie genami

287 Naukowcy potrafią wskazać miejsce w cząsteczce DNA kodujące określone białko. Innymi słowy, potrafimy określić pozycję genów w każdym chromosomie. Nazywa się to tworzeniem mapy DNA. Wiele z tych tysięcy genów, które stanowią kompletny materiał genetyczny człowieka, umieszczono już na mapie, lecz większość jeszcze na to czeka.

O wiele trudniejszą i bardziej złożoną operacją jest oznaczenie

sekwencji par zasad wzdłuż cząsteczki DNA. Gdyby w poszczególnych odcinkach DNA udało się tego dokonać, to wiedzielibyśmy nie tylko, gdzie są umiejscowione geny, lecz także jakie one są – ze wszystkimi szczegółami.

288 Biolodzy wystąpili z wnioskiem, żeby oznaczyć sekwencje zasad w całym genomie człowieka – we wszystkich dwudziestu trzech chromosomach. Byłby to w USA plan na co najmniej dziesięć lat i kosztowałby wiele miliardów dolarów (gdyby zaakceptował go Kongres). Końcowy rezultat stanowiłoby kompletne zestawienie materiału genetycznego człowieka.

289 „Wklejanie” genów do nici DNA jest podobne do klejenia taśmy filmowej. Specjalne enzymy przecinają cząsteczkę DNA. Ponieważ miejsce przecięcia jest schodkowe, tzn. po obu stronach wystaje pewien odcinek jednej nici wraz ze swymi zasadami, przylepia się do niego inny odcinek DNA posiadający zasady pasujące do miejsca przecięcia. Proces włączania nowego od-

cinka DNA nazywany jest rekombinacją, a powstająca w ten sposób cząsteczka – zrekombinowanym DNA. Tak może być umieszczony w DNA nowy gen. Ujawni się on, gdy DNA, na którym dokonano manipulacji, zostanie ponownie umieszczony w organizmie. Co więcej, potomkowie pierwszego posiadacza nowego genu także będą mieli ten gen, ponieważ podział komórki zaczyna się od replikacji takiego DNA, jaki akurat się w niej znajduje.

290 Inżynieria genetyczna to zbiór metod pozwalających na dokonywanie modyfikacji w genomie organizmów żywych. Z technicznego punktu widzenia otwiera to nadzwyczajne możliwości. Można na przykład wy-

tworzyć bakterie, które będą wydzielaly substancje, takie jak insulina czy interferon, mające ważne zastosowanie w medycynie. Metody tej można użyć również do wyhodowania roślin odpornych na mróz lub produkujących swoje własne środki ochrony przed szkodnikami. Publiczne dyskusje na temat inżynierii genetycznej koncentrują się często na niebezpieczeństwie uwolnienia do otoczenia nie znanych dotychczas form życia. W latach siedemdziesiątych uczeni sami ogłosili moratorium na badania nad DNA rekombinowanym, dopóki nie zostaną podjęte odpowiednie środki ostrożności. Teraz, kiedy warunek ten jest spełniony, trwają dyskusje nad specjalną techniką prób polowych, a zwłaszcza prób dotyczących genetycznie zmienionych roślin.

Wirus

291 Wirus jest albo najbardziej skomplikowaną cząstką materii nieorganicznej, albo najprostszą – materią żywej, zależ-

nie od tego, co rozumie się przez słowo „żywy”. Rdzeń wirusa składa się z DNA lub RNA i jest otoczony płaszczem białkowym.

Wirus może przetrwać bez komórki, lecz nie może się bez niej rozmnażać.

292 Wirusy rozmnażają się za pomocą niektórych procesów biochemicznych zachodzących w komórce. Kiedy wirus pojawia się przy ścianie komórkowej, komórka rozpoznaje białko osłonki wirusa i wchłania go do swego wnętrza. Gdy wirus znajdzie się w komórce, jego osłonka rozpływa się, uwalniając kwas nukleinowy, który może wtedy swobodnie działać. Od tej pory część normalnych funkcji komórki jest skierowana na produkcję substancji zakodowanych w DNA lub RNA wirusa. Obcy kwas nukleinowy jest wielokrotnie reprodukowany, podobnie jak osłonka. Komórka rozpada się, uwalniając wiele kompletnych wirusów zdolnych do zarażenia innych komórek.

Tajemnica

293 Skąd pochodzą wirusy? Ponieważ wirusy nie rozmnażają się w normalny spo-

sób, trudno wyobrazić sobie, jaki był ich początek. Jedną z teorii głosi, że są pasożytami, które w ciągu bardzo długiego okresu straciły zdolność samodzielnego rozmnażania się. (Nie jest to tak niecodzienne – człowiek stracił zdolność syntezy witaminy C i musi ją teraz pobierać z otoczenia, chociaż wiele innych ssaków nadal może samodzielnie wytwarzać tę witaminę).

294 Wirusy należą do najmniejszych istot żywych. Typowy wirus, taki jak te, które wywołują zwyczajną gripę, może mieć średnicę nie większą niż tysiąc atomów. Jest mały w porównaniu z komórką, która może być setki, a nawet tysiące razy od niego większa. Jego małe rozmiary są jednym z powodów łatwości, z jaką przenosi się z jednego gospodarza na drugiego – trudno odfiltrować coś tak małego. Niektóre wirusy mają jednak tak duże rozmiary, że są większe od najmniejszej komórki.

295 Wirus komputerowy działa w podobny sposób jak prawdziwy. Wirusy komputerowe są to małe pro-

gramy, które po wejściu do komputera przyłączają się do dużych programów. Kiedy znajdują się już wewnątrz, zmuszają mechanizm komputera do wykonywania innych czynności niż zaprogramowane. Wirus komputerowy może na przykład wypełnić całą dostępną pamięć komputera materiałem bezsensownym lub, w szczególności przy krych przypadkach, wymazać całą pamięć do czysta. Termin „wirus komputerowy” przyjął się powszechnie, ponieważ, podobnie jak prawdziwe wirusy, sam nie potrafi osiągnąć swoich nikczemnych celów. Zamiast tego dyryguje maszyną, którą opanował.

296 Wirusów nie można zabić antybiotykami. Antybiotyk jest substancją chemiczną, która, przyjęta przez komórkę, przystępuje do jej zabijania. Antybiotyk zwykle blokuje jakiś ważny etap normalnej chemii komórkowej. Wirusy nie są komórkami, więc ta metoda na nie nie działa. Z tego powodu nie możesz pozbyć się grypy, którą wywołuje wirus, biorąc antybiotyk, co jest dobrym sposobem na zapalenie

płuc (chorobę pochodzenia bakteryjnego).

Tajemnica

297 Dlaczego wirusy są tak swoiste? Wirusy wydają się zdolne do ataku tylko na jeden rodzaj komórek, a na choroby wirusowe zapadają tylko niektórzy przedstawiciele świata roślin i zwierząt. Na przykład na choroby wirusowe choruje wiele roślin okrytozalążkowych, lecz bardzo mało roślin nagolazłkowych, do których należą drzewa i krzewy szpilkowe. Kręgowce zapadają na wiele chorób wirusowych, podobnie jak stawonogi, lecz inne zwierzęta nie są tak podatne.

298 Retrowirusy są odpowiedzialne za AIDS i pewne rodzaje raka u człowieka. Retrowirus działa następująco. Wirusowy RNA wspomagany przez wirusowy enzym wytwarza odcinek DNA, który zostaje wprowadzony do jądra komórkowego. Odcinek ten koduje produkcję większych ilości zarów-

no RNA wirusowego, jak i en- i ewentualnie zabijają komórkę zymu. Powstają nowe wirusy (a także organizm).

Komórka

299 Wszystkie żyjące istoty są zbudowane z komórek.

Od największej sekwoi do najmniejszej bakterii jednokomórkowej wszystkie istoty żywe są albo jedną komórką, albo zespołem komórek. Komórka pełni wiele funkcji, takich jak podtrzymywanie biochemicznych procesów życiowych, generowanie i przetwarzanie energii oraz przechowywanie informacji genetycznej w celu przekazania jej następnym pokoleniom. Temu służy złożona struktura komórki.

Komórki organizmów zaawansowanych w rozwoju (zarówno jednokomórkowych, jak i wielokomórkowych) posiadają jądra. O komórce z jądrem mówi się, że jest eukariotyczna, co można przetłumaczyć jako „zawierająca prawdziwe jądro”.

Komórki prymitywne nie mają jądra; ich DNA jest rozmieszczone w komórce w luźnych zwojach. Komórki bez jądra to ko-

mórki prokariotyczne (przed jądrem).

300 Ciało człowieka składa się z około dziesięciu bilionów komórek.

301 Rozmiary komórek bardzo się różnią. Średnica najmniejszej komórki wynosi tylko kilka tysięcy średnic atomów. Największą pojedynczą komórką jest jajo strusia, które może osiągnąć 50 cm długości. Średnica większości komórek wynosi około kilkuset tysięcy średnic atomowych (10^{-5} do 10^{-4} m).

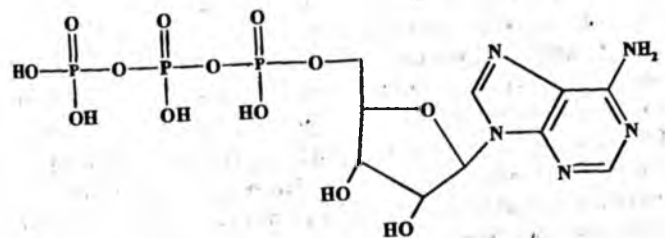
Większość komórek nie jest ani bardzo duża, ani bardzo mała. Składa się na to wiele powodów. Procesy chemiczne w komórce wykonują białka. Do utworzenia białka jest potrzebny odcinek DNA (tzn. gen) i dwa różne ro-

dzaje RNA. Na to wszystko trzeba trochę miejsca – w komórce zbyt małej się nie zmieści. Jeśli idzie o duże komórki, powstaje inny problem. W miarę jak rosną rozmiary komórek, ich objętość rośnie szybciej niż pole powierzchni. Ponieważ całe potrzebne komórkom pożywienie musi być absorbowane przez powierzchnię komórki, a także wszystkie substancje zbyteczne muszą być przez tę powierzchnię wydalone, to zbyt duża komórka łatwo może osiągnąć taki stan, w którym jej powierzchnia będzie „przeładowana”. Oznacza to, że nie będzie na niej dość miejsca, żeby wszystkie te niezbędne czynności zostały wykonane. Stan przepełnienia wydaje się znajdować gdzieś w pobliżu górnej granicy normalnych rozmiarów komórek.

302 Fizyk angielski Robert Hooke był pierwszym, który przyjrzał się budowie żywego organizmu przez nowy mikroskop wynaleziony przez jego kolegów. W kawałku korka zauważył szereg otworków stanowiących samodzielną strukturę i nazwał je komórkami. Dziś nazwalibyśmy je ścianami komórkowymi.

Energia komórek

303 Uniwersalnym przenośnikiem energii w komórce jest ATP, inaczej adenylozynotrójfosforan. Do wytwarzania tej cząsteczki jest zużywana energia otrzymywana



Adenylozynotrójfosforan.

z pożywienia lub światła słonecznego. Z energii zmagazynowanej w tej cząsteczce łatwo mogą korzystać inne reakcje chemiczne zachodzące w komórce. Dla porządku podaję wzór strukturalny cząsteczki ATP – drugiej co do ważności po DNA.

Ważną rolę w budowie cząsteczki ATP odgrywają trzy grupy fosforu i tlenu na jednym z końców tej cząsteczki. Każda z nich nazywa się grupą fosforanową i fakt, że jest ich trzy, wyjaśnia obecność litery T w nazwie ATP.

Komórkowy system energetyczny działa następująco. Energia otrzymana z procesu fermentacji, oddychania lub fotosyntezy (patrz niżej) jest użyta do przyczepienia do cząsteczki ADP (adenozynodwufosforan) trzeciej grupy fosforanowej, aby powstała z niej ATP. Cząsteczka ATP jest przechowywana, wraz ze zmagazynowaną w niej energią, aż do czasu, kiedy energia ta będzie potrzebna do innej reakcji chemicznej. Cząsteczka ATP oddaje energię w ten sposób, że w odpowiednim momencie następuje usunięcie z niej dodatkowej grupy fosforanowej i cząsteczka staje się znów

ADP. Tak więc przyłączanie i uwalnianie tej trzeciej grupy fosforanowej podtrzymuje działanie całego świata żywego.

Pytanie

Co to jest adenozynodwufosforan? Odpowiedź: Jest to związek podobny do ATP, lecz ma tylko dwie grupy fosforanowe na jednym z końców cząsteczki.

304 W przeciętnej komórce w ciągu jednej minuty bierze udział w reakcjach chemicznych około dwóch milionów cząsteczek ATP.

305 Komórka dysponuje jeszcze innymi rodzajami krótkoterminowych magazynów energii. Przypomina trochę mieszkańca amerykańskiego miasta. W sklepie spożywczym używa pieniędzy, ale za bilet lotniczy płaci kartą kredytową. W ten sam sposób komórka wykorzystuje ATP do magazynowania małych ilości energii, które są wymieniane przez cały czas. Gdy jednak w grę wchodzi duże ilości energii, komórka posługuje się innymi

procesami. Wymagają one zużycia energii do zabrania elektronów z pewnych specjalnych cząsteczek. Energia ta jest odzyskiwana potem w innym miejscu, kiedy inne elektrony spadają na niższy poziom energetyczny. Najczęściej spotykaną „kartą kredytową” jest cząsteczka NAD (litery pochodzą od dwunukleotydu nikotynamidoadeninowego). Uwierzyć mi, wcale nie masz ochoty na oglądanie wzoru strukturalnego tej cząsteczki.

306 Fermentacja jest najprostszą i prawdopodobnie najstarszą formą wytwarzania energii w komórce. Jest to proces rozkładu cząsteczki węglowodanu (np. glukozy) na mniejsze cząsteczki, takie jak kwas mlekowy, etanol lub dwutlenek węgla. Podczas rozkładu uwalnia się energia, która jest użyta do utworzenia ATP. Jest to proces raczej mało wydajny – z każdej cząsteczki glukozy powstają tylko dwie cząsteczki ATP. Proces fermentacji zachodzi w warunkach beztlenowych. Przypuszczalnie we wczesnych etapach rozwoju życia na Ziemi, kiedy nie było jeszcze tlenu w atmosferze ziemskiej, komórki wytwarzały energię za pomocą procesu fermentacji.

Istnieje wiele różnych rodzajów procesów fermentacji, lecz być może najlepiej jest znany ten, który prowadzi do produkcji alkoholu etylowego. W procesie tym drożdże przerabiają cukier (glukozę) w alkohol i dwutlenek węgla. Zarówno alkohol, jak i dwutlenek węgla są, z punktu widzenia drożdży, produktami odpadowymi – one chcą tylko ATP. Ludzie oczywiście zużywają alkohol, a dwutlenkowi węgla pozwalają wrócić do atmosfery.

307 Fakt, że wino jest produkowane za pomocą fermentacji, ma pewne konsekwencje. Fermentacja zachodzi w warunkach beztlenowych. Jeżeli wino zostawi się na powietrzu, to fermentacja ustanie i wino zamieni się w ocet. Jeśli po otwarciu wina pozwoli mu się „odetchnąć”, to obecność tlenu spowoduje rozkład pewnych specyficznych związków chemicznych w winie, co uwydatni jego pełny smak i bukiet.

Pamiętam, kiedy jeszcze byłem początkującym znawcą wina, otwarto butelkę *Clos de Veugeot* i wypito ją, zanim tlen z powietrza wykonał swoje za-

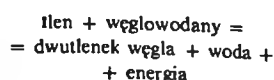
danie. Dopiero przy ostatnim kieliszku uświadomiłem sobie, co się stało. Myśl o tej straconej butelce nadal sprawia mi przykrość, więc ostrzegam – kiedy otwierasz dobre wino, pozwól mu odetchnąć!

308 Do wytwarzania światła przez świetliki niezbędnym jest ATP. Szybka, choć „brudna” metoda, jaką biologzy stosują do sprawdzania zawartości ATP w roztworze, jest wrzucenie do niego substancji pobranych ze spodnich części odwłoków robaczków świętojańskich i obserwowanie, jak silnie świeci ten roztwór.

309 W komórkach eukariotycznych energia jest wytwarzana przez bardziej złożony proces nazywany oddychaniem. Oddychanie można traktować jako proces „spalania” dużych cząsteczek, tzn. stworzenia im możliwości łączenia się z tlenem. W procesie tym węglowodany, takie jak glukoza, rozkładają się na coraz to mniejsze cząsteczki, aż do utworzenia się wody i dwu-

tlenku węgla. Cała energia zgromadzona w wiązaniach chemicznych cząsteczki węglowodanu jest zużyta na wytworzenie ATP. Oddychanie jest procesem dosyć wydajnym – z jednej cząsteczki glukozy powstaje aż trzydzieści sześć cząsteczek ATP.

Podstawowe równanie oddychania:



310 Wiele komórek, normalnie posługujących się oddychaniem, ma jednocześnie zdolność do korzystania z procesu fermentacji. Jest to rodzaj zabezpieczenia. Kiedy komórki mięśni w twoim ciele są pozbawione tlenu (np. w przypadku mobilizowania ich do zbyt ciężkiej pracy), przerzucają się na fermentację po to, by utrzymać zdolność do działania. Strategia „zachowania więcej niż jednej drogi prowadzącej do celu” jest bardzo rozpowszechniona wśród komórek eukariotycznych. Jednym z wyjątków są komórki układu nerwowego człowieka. Z tego powodu nawet krótkie okresy pozbawienia tlenu prowadzą do poważnego uszkodzenia mózgu.

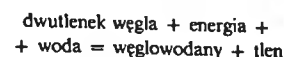
311 Jeżeli twoje mięśnie pracują zbyt ciężko, to komórki wskutek deficytu tlenu uruchamiają proces fermentacji, którego produktem końcowym jest kwas mlekowy. Powstanie kwasu mlekowego w twoich mięśniach jest przyczyną, znanych ci aż za dobrze, objawów bólu i sztywności następnego dnia. Rozwiązaniem problemu są regularne ćwiczenia, które zwiększają zdolność organizmu do dostarczania tlenu komórkom.

312 Szlak metaboliczny to szereg następujących po sobie w określonej kolejności reakcji chemicznych, prowadzących do przemiany paliwa w energię komórki. We wszystkich prawie komórkach wszystkie szlaki metaboliczne prowadzą do wytworzenia ATP, ale mogą być one bardzo złożone i skomplikowane.

Fotosynteza

313 Fotosynteza jest odwróceniem oddychania. Proces fotosyntezy może być schara-

kteryzowany przez następujące równanie ogólne:



Energia, konieczna, aby proces ten odbył się, jest oczywiście dostarczana przez światło słoneczne. Fotosyntezą posługują się rośliny.

314 Fotosynteza jest podstawą całego życia na Ziemi. Rośliny wykorzystują energię światła do syntezy węglowodanów. Rośliny są zjadane przez inne organizmy, a zgromadzona w roślinach energia wydobywana jest z nich w procesach fermentacji i oddychania. Cała energia, jaką dysponują istoty żywe – włączając w to energię, jaką teraz wydatkujesz, skupiając się na powyższych słowach – pierwotnie pochodzi od Słońca i dostarczana jest za pośrednictwem procesu fotosyntezy.

315 Fotosynteza jest zwykle związana z chlorofilem. Chlorofile to rodzaj cząsteczek, w których centralnie położony atom magnezu jest otoczony złożonym pierścieniem węgla i wodoru. Mają one także długi ogon, dzięki któremu wyglądają jak latawiec w powietrzu. Proces fotosyntezy rozpoczyna się od absor-

pcji fotonu przez cząsteczkę chlorofilu. Energia fotonu powoduje przesunięcie elektronu w cząsteczce na wyższą orbitę, z której łatwiej jest temu elektronowi przenieść się do innej cząsteczki. Oddanie elektronu jest energią wejściową, która uruchamia cały łańcuch reakcji.

316 Nie tylko chlorofil absorbuje w liściach światło. Istnieją dwa rodzaje cząsteczek chlorofilu. Jedne absorbują światło czerwone, a drugie – niebieskie. Ponadto liście mogą zawierać inne cząsteczki, które absorbują światło i przekazują energię chlorofilowi. Chlorofil wraz z pigmentami absorbują całe światło padające oprócz zieleni. Z tego właśnie powodu liście mają kolor zielony. Jesienią, kiedy chlorofil przestaje być produkowany, o tym, jakie światło będzie absorbowane przez liście, decydują inne pigmenty. Stąd się biorą wszystkie wspaniałe jesienne barwy liści.

Głupie pytanie

317 Dlaczego liście nie są czarne? Liście absorbowałyby najwięcej światła, gdyby

pochłaniały wszystkie długości fal. Dlaczego więc nie ma w nich pigmentu absorbującego światło zielone, skoro są takie, które absorbują żółte i niebieskozielone? Gdyby istniały takie pigmenty, to liście byłyby czarne. Pamiętając o mechanizmie naturalnej selekcji, można by oczekiwać dominacji czarnych liści na Ziemi, a jednak tak nie jest. Czy zdarzyło się coś takiego w historii ewolucji, co uniemożliwiło powstanie roślin z czarnymi liśćmi, czy też może jest jakiś fizyczny powód złego funkcjonowania takich roślin?

318 Fotosynteza jest procesem dwuetapowym. Kiedy elektron został już usunięty z cząsteczki chlorofilu, tak jak to opisano powyżej, rozpoczyna się cały łańcuch reakcji prowadzący do powstania cząsteczek, które magazynują energię na krótki okres. Cząsteczki te to „gotówka” w formie ATP i „karty kredytowej” w formie kuzyna NAD, zwanego NADPH. Ten etap fotosyntezy nazywa się fazą świetlną. W drugim etapie energia zgromadzona w cząsteczkach służy do przeprowadzenia innej serii złożonych reakcji, w których jest pobierany z powietrza dwutlenek węgla. Końcowy produkt tych

reakcji to glukoza i tlen jako produkt uboczny, odpadowy. Jest to faza niezależna bezpośrednio od światła – „faza ciemna”.

Gdy nie ma światła, ustaje wytwarzanie ATP i NADPH i obie fazy, zarówno świetlna, jak i ciemna, stopniowo się zatrzymują.

319 Komórki roślin zużywają glukozę, wyprodukowaną na drodze fotosyntezy, w podobny sposób jak komórki wszystkich innych organizmów. Większość komórek roślinnych w procesie oddychania przetwarza glukozę wyprodukowaną w chloroplastach. Podobnie jak w innych typach komórek, proces otrzymywania energii z glukozy zachodzi w mitochondriach. Tak więc rośliny i zwierzęta posługują się dokładnie tym samym mechaniz-

mem komórkowym wytwarzania energii z glukozy, lecz różnią się zasadniczo sposobem, w jaki ta glukoza jest otrzymywana.

320 W biologii znajdują się wyjątki dla każdej reguły, włączając w to zasadę, że fotosynteza wymaga chlorofilu. W 1971 r. biolodzy odnaleźli bakterię żyjącą w środowisku słonym (tzw. halobakterię). Bakteria ta nie ma chlorofilu, a jednak jest zdolna do fotosyntezy. Produkuje pewien typ pigmentu, podobny do tych, które znaleziono w tęczówce oka. Pigment ten w połączeniu z białkiem formuje szkarłatne plamki w błonie komórkowej. Plamki te produkują za pomocą fotosyntezy ATP, który kieruje dalszym metabolizmem komórkowym.

Budowa komórki

321 Komórka to bardzo złożona struktura. Żywą komórkę można porównać do rafinerii lub innej fabryki chemicznej. Podobnie jak do fabryki, do komórki są sprowadzane surowce, które następnie rozprawdza się

po jej wnętrzu. Zachodzi w niej jednocześnie tysiące reakcji chemicznych. Produkty tych reakcji są odprowadzane do innych miejsc wewnątrz komórki lub wydalone na zewnątrz do większego organizmu, którego komórka jest częścią.

Termin „protoplasma” jest obecnie rzadko używany przez biologów, ponieważ ten składnik komórki okazał się bardziej złożony, niż przypuszczano. Pierwotnie termin ten oznaczał „żywą materię” i odnosił się do tego, co większość uważała za prosty płyn wewnątrzkomórkowy. Obecnie używa się terminu „cytoplasma”, który oznacza płyn znajdujący się w komórce pomiędzy jej różnymi strukturami. („Cyto” to przedrostek oznaczający komórkę).

322 Można sobie wyobrazić komórkę jako fabrykę składającą się z trzech głównych systemów. Są to: 1) zestaw instrukcji działania mówiących każdemu, co ma robić; 2) część produkcyjna fabryki chemicznej, której pewne działy zaopatrują komórkę w energię, a inne produkują nowe wyroby; 3) system transportu rozprowadzający materiały wewnątrz komórki, od jednych jej części do innych. Do systemu transportu należą błony komórkowe, które otaczają poszczególne części komórki, a także błona oddzielająca całą komórkę od jej otoczenia. Błony można sobie wyobrazić jako „rampę przeladunkową” wpuszczającą materiały potrzebne komórce,

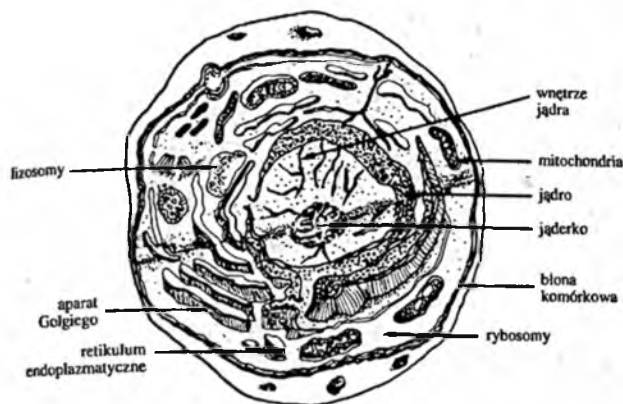
a zatrzymującą na zewnątrz – zbyteczne.

W zewnętrznej błonie typowej komórki eukariotycznej znajdują się specjalne receptory, które wpuszczają surowce oraz wypuszczają produkty końcowe i odpadowe. Wewnątrz, po zawilum trójwymiarowym systemie włókienek, ślizgają się mikroskopijne pęcherzyki wypełnione substancjami chemicznymi, przenosząc swój ładunek do różniących się kształtem obiektów, w których przebiegają wszystkie procesy chemiczne w komórce.

W jądrze mieszczą się splecione nici DNA, które wysyłają instrukcje tłumaczone potem na białka.

Błony komórkowe

323 Błony komórkowe, które oddzielają komórkę od jej otoczenia, a także jedne części komórki od innych, są zbudowane z cząsteczek pewnego typu lipidu. Cząsteczki te mają taką właściwość, że jeden ich koniec jest przyciągany, a drugi odpychany przez wodę. Pozostawione w cieczy same sobie, cząsteczki te uformują się w podwójną warstwę, tak że końce cząsteczek przycią-



Schemat komórki.

gane przez wodę znajdują się na zewnątrz, a końce odpychane przez wodę pozostaną zamknięte wewnątrz. Błona komórkowa może być przedstawiona jako warstwa takich podwójnych cząsteczek przylegających do siebie. Cząsteczki znajdujące się w warstwie mogą zmieniać miejsca – praktycznie przypominają warstwę kulek ze styropianu, które wysypuje się na powierzchnię basenu, aby nie zamarzł zimą. Warstwa ta jest szczelna, ale nie sztywna.

324 W błonie komórkowej znajdują się receptory. Są to większe cząsteczki białka rozrzucone między lipidami. Wyglądają jak pilki do koszykówki

unoszące się na powierzchni basenu pokrytego kulkami styropianowymi. Istnieje wiele różnych rodzajów receptorów, które, podobnie jak inne białka, mają skomplikowany kształt trójwymiarowy. Gdy w pobliżu znajdzie się cząsteczka o kształcie pasującym do kształtu receptora, to nastąpi jej połączenie z receptorem i wciągnięcie do wnętrza komórki. W ten sposób spośród cząsteczek znajdujących się w sąsiedztwie błona komórkowa aktywnie wybiera te, których komórka potrzebuje.

325 AIDS jest chorobą śmiertelną, gdyż tak się składa, że wirus za nią

odpowiedzialny pasuje do receptora, który normalnie znajduje się w błonie komórkowej komórki białego ciałka krwi. Receptor wciąga wirusa do wnętrza komórki wierząc, że wykonuje jedynie swoje zadanie – a konsekwencje są tragiczne.

326 Substancje mogą przedostawać się przez błonę komórkową w postaci pojedynczych atomów, cząsteczek lub nawet większych agregatów. Przenoszenie dużych porcji substancji przez błonę przebiega następująco. W błonie powstaje wgłębienie, substancja jest następnie przez błonę otaczana, aż w końcu błona zamyka się nad nią, tworząc kapsułkę nazywaną pęcherzykiem, w którym substancja odbywa dalszą podróż do wnętrza komórki. Kiedy natomiast zawartość pęcherzyka ma być wyniesiona na zewnątrz (np. wtedy, gdy wytworzone przez komórkę produkty jej chemicznej fabryki mają być wydalone do krwiobiegu), wówczas pęcherzyk zbliża się do błony, powstaje w niej otworek i jego zawartość jest wyrzucona, jakby została wyciśnięta ze strzykawki.

Niektóre atomy mogą przedostawać się przez błonę dzięki prostemu procesowi dyfuzji lub osmozy, lecz większe cząsteczki potrzebują często pomocy. Udzielanie jej to funkcja białek. Mogą one to zrobić albo otwierając kanał, przez który przejdzie duża cząsteczka, albo pełniąc funkcję przenośników w tzw. transporcie czynnym. W normalnych komórkach zachodzą oba te procesy.

327 Transport przez błonę komórkową znasz z własnego doświadczenia. Kiedy na przykład wkładasz do wody zwiędłą sałatę, odzyskuje ona kruchość dzięki absorpcji wody przez jej komórki. Wiesz również, że transport czynny materiału przez błony komórkowe musi być możliwy, ponieważ istnieją ryby (takie jak łosoś), które mogą żyć zarówno w wodzie słonej, jak i słodkiej. Kiedy łosoś znajduje się w wodzie słodkiej, to pobiera sól przez komórki w skrzelach. W wodzie słonej natomiast sól jest przez te same komórki wydalana. W obu przypadkach sól porusza się „pod prąd” i musi być przenoszona za pomocą transportu czynnego.

328 Rośliny, grzyby i niektóre przedstawiciele królestwa Protista mają na zewnętrznej stronie błony komórkowej sztywną strukturę zwaną ścianą komórkową. Ściana komórkowa roślin jest zbudowana głównie z celulozy i zapewnia sztywność lodydze i gałęziom. Materiał taki jak drewno zawdzięcza swoją wytrzymałość ścianom komórkowym, które spełniają swoją funkcję jeszcze długo po śmierci samej komórki.

Szkielet cytoplazmatyczny

329 Jedną z rzeczy, którą tyś zaobserwował po wejściu do komórki, jest koronkowa struktura wypełniająca całe jej wnętrze, zbudowana z włókien białkowych (tzw. szkielet cytoplazmatyczny). Istnieją różne rodzaje włókien – to one nadają komórce kształt. Komórki, które pełzają, robią to za pomocą skracania i wydłużania włókien. Czasem włókna wystają na zewnątrz błony komórkowej, tworząc małe włoski – rzęski. Urzęsionym nabłonkiem migawkowym jest wysłana błona śluzowa oskrzeli.

Rzęski te stanowią naszą pierwszą linię obrony przeciwko infekcjom.

330 Włosy i zewnętrzna warstwa skóry rozpoznały życie jako komórki ze szczególnie bogatą i skręconą wiązką nici stanowiących ich szkielet cytoplazmatyczny. Kiedy komórki umarły, wiązki pozostały, tworząc te dwie części twojego ciała. W ten sposób masz przez całe życie bezpośredni kontakt ze szkieletem cytoplazmatycznym.

331 Komórka ma system transportowy składający się głównie z małych włókienek nazywanych mikrokanalikami. Kiedy w jednej z fabryk chemicznych zostanie wytworzona partia produktów, to wysyłana jest w pęcherzyku, który powstał z zewnętrznej błony tej „fabryki”. Pęcherzyki są przesuwane wzdłuż mikrokanalików, przypominających system miniaturowych linii kolejowych. Ponieważ zachodzi jednocześnie tysiące reakcji chemicznych, problem wysłania pęcherzyka zawierającego właściwe cząsteczki do właściwe-

go miejsca w komórce nie jest taki prosty. System „adresowania” jest oparty na własnościach wyspecjalizowanych cząsteczek na powierzchni pęcherzyka. Te właśnie cząsteczki są rozpoznawane przez receptory w błonach wewnątrzkomórkowych „fabryk chemicznych”. Kiedy obok przesuwa się właściwy pęcherzyk, receptor wciąga go do wnętrza fabryki, tak samo jak receptory w zewnętrznej błonie komórki wciągają substancje do jej wnętrza.

Możesz wyobrazić sobie, że system transportowy komórki jest podobny do poczty, w której listy przemieszczają się przypadkowo. Do twojego domu przychodzą wszystkie listy, zatrzymujesz sobie tylko te, które są zaadresowane do ciebie, a resztę wysyłasz w dalszą drogę. Mimo że system ten nie wydaje się efektywny, cała korespondencja zostanie w końcu rozproszona.

Organelle

332 Organelle to komórkowe fabryki chemiczne. Stanowią zorganizowane struktury wewnątrz komórki. Większość chemicznej aktywności komórki

przebiega w różnych organellach. Gdyby komórka była dużym budynkiem, organelle osiągałyby rozmiary od piłki plażowej do pokoju. W komórce może ich być tysiące. Istnieje wiele rodzajów organelli, a każdy pełni inne funkcje.

333 Mitochondria to „fabryki” zaopatrujące komórkę w energię. W każdej komórce twojego ciała może być setki lub nawet tysiące tych organelli w kształcie kielbasek. Węglowodany, tłuszcze i białka, które pobierasz w pożywieniu i częściowo trawisz w jelitach, są wprowadzane do komórki przez białka receptorowe znajdujące się w błonie cytoplazmatycznej i przenoszone tych organelli substancje pokarmowe są rozkładane w procesie przypominającym powolne spalanie, a energia jest przekształcana w cząsteczki ATP, które są głównymi przenośnikami energii w komórce. W komórce o rozmiarach domu mitochondria byłyby trochę większe niż kanapa w salonie.

334 Każda komórka w twojej wątrobie ma ponad tysiąc mitochondriów.

335 Przemiana energii u roślin zachodzi w chloroplastach. Jak sama nazwa wskazuje, jest to miejsce w komórce, gdzie mieści się chlorofil. Właśnie chloroplasty nadają komórce (i całemu liściowi) zielony kolor. Ich funkcją jest wykorzystanie energii świetlnej do przekształcenia dwutlenku węgla w glukozę, którą komórka zużywa jako źródło energii.

W częściach roślin, do których nie dociera światło (np. korzenie), nie ma chloroplastów, dlatego te części nie są zielone.

Tajemnica

336 Dlaczego pomidor jest czerwony? Dojrzały pomidor, marchew i wiele innych owoców mają podobne do chloroplastów organelle, które nadają im kolor. Nikt nie wie, jakie funkcje pełnią te tzw. chromoplasty. Jedną z teorii głosi, że mają one przyciągać owady rozsiewające nasiona, ale trudno pogodzić tę opinię z faktem, że pomarańczowa część marchewki jest pod ziemią.

337 Mitochondria i my to nadzwyczaj szczęśliwy związek. Wśród biologów przeważa pogląd, że przodkowie mitochondriów i chloroplastów byli niegdyś niezależnymi komórkami prowadzącymi swoje własne życie. W zamierchłej przeszłości przedostały się one do przodków naszych komórek i od tej pory pozostały w nich już na zawsze.

Pogląd ten potwierdza kilka dowodów. Po pierwsze, błony komórkowe dookoła mitochondriów i chloroplastów mają dwie warstwy cząsteczek lipidów, co sugeruje, że organelle te miały kiedyś swoje własne błony komórkowe. Po drugie, mitochondria i chloroplasty mają swój własny DNA – możesz myśleć o nich jak o małych komórkach prokariotycznych wewnątrz większej komórki eukariotycznej.

338 Badając DNA w mitochondriach, uczeni prześledzili drzewo genealogiczne człowieka aż do pierwszej kobiety, „Ewy”. Doświadczenie to zostało oparte na założeniu, że DNA w mitochondriach nie podlega zmianom wymuszonym przez dobór na-

turalny, dlatego zmienia się powoli i ze stałą prędkością. Znając obecną szybkość zmian DNA w mitochondriach i wiedząc, jak się różni DNA dwóch poszczególnych osobników, można przez ekstrapolację określić czas, kiedy żył ich wspólny przodek (patrz notka 239).

339 We wnętrzu komórki rozpociera się retikulum endoplazmatyczne (RE). Jeżeli kiedykolwiek obserwowałeś człowieka, który zbierał powłokę balonu i ładował ją na ciężarówkę, łatwo możesz sobie wyobrazić, jak wygląda retikulum – jest to ogromna błona wielokrotnie złożona.

Część retikulum endoplazmatycznego ma powierzchnię zewnętrzną pokrytą rybosomami, dzięki czemu sprawia wrażenie szorstkiej. Dlatego nazywana jest retikulum endoplazmatycznym szorstkim. Białka wyprodukowane na tych rybosomach są używane na zewnątrz komórki i wewnątrz części retikulum endoplazmatycznego, które nie ma rybosomów (RE gładkie) i gdzie białka te mogą zostać „wykończone” i zmagazynowane.

340 Aparat Golgiego wygląda jak stos naleśników.

Ta część komórki otrzymała nazwę od nazwiska włoskiego biologa Camillo Golgiego, który odkrył ją w 1898 r. W komórce o rozmiarach domu aparat Golgiego mógłby mieć wielkość dużego samochodu. Liczba tych organelli w komórce jest różna w różnych częściach ciała. Zachodzi w nich końcowa synteza tych białek, które komórka zamierza wydalić. Jest to coś w rodzaju magazynu i pakowni w fabryce komórkowej.

341 Jeszcze nie tak dawno istnienie aparatów Golgiego było kwestionowane.

Okazało się, że bardzo trudno je zobaczyć pod zwyczajnym mikroskopem, toteż przez pierwszą połowę naszego wieku większość biologów traktowała je tak jak kanały na Marsie. Przekonanie o ich istnieniu ugruntowało się dopiero w latach pięćdziesiątych. Przyczyniło się do tego pojawienie się mikroskopu elektronowego.

342 Lizosomy są „żołądkiem” komórki. U człowieka lizosomy zawierają około

pięćdziesięciu różnych enzymów trawiennych. Wewnątrz lizosomów częściowo rozłożone cząsteczki pożywienia są rozkładane na prostsze związki chemiczne, a następnie odsyłane z powrotem, aby w mitochondriach przekształcić je w energię. Nie zużyte resztki pożywienia i enzymów są odprowadzane do błony komórkowej i wyrzucane na zewnątrz komórki. W komórce o rozmiarach domu lizosom ma wielkość fotela.

343 Lizosomy odgrywają ważną rolę w „samobójstwie komórkowym”. Jeżeli komórka jest pozbawiona tlenu przez dłuższy czas, to „popelnia samobójstwo”. Ścianki lizosomów pękają i enzymy trawienne wylewają się do komórki. W wyniku tego komórka sama ulega strawieniu. W mózgu człowieka takie samobójstwo komórek następuje po zaledwie czterech lub pięciu minutach braku tlenu. Z tego powodu nawet krótkotrwałe niedotlenienie może spowodować poważne następstwa neurologiczne.

344 Rybosomy odgrywają ważną rolę w translacji mRNA na białko. W komórce są

ich miliony, większość z nich przylega do ścianek retikulum endoplazmatycznego. W komórce wielkiej jak dom rybosom ma rozmiary piłki golfowej.

345 W większości komórek (zwłaszcza u roślin) znajdują się obszary wypełnione cieczą i wydające się nie mieć żadnej struktury wewnętrznej. To wakuole. U roślin są w nich magazynowane niektóre płynne produkty przemiany materii. Wakuole odpowiadają za sztywność wielu roślin nierzewiastych. Magazynowanie metabolitów jest ważną funkcją, ponieważ rośliny często nie są zdolne do wydalania zbędnych produktów przemiany materii do otoczenia. Pozostaną w komórce, dopóki ona nie umrze.

Jądro

346 Jądro zawiera genetyczny plan działania komórki. Jądra są największymi organellami w komórce eukariotycznej. W komórce-domu miałyby rozmiary pokoju. Podobnie jak mitochondria jądro jest otoczone podwójną błoną. W błonie tej

znajdują się pory, które umożliwiają RNA opuszczenie jądra, lecz zatrzymują wewnątrz DNA.

Wewnątrz jądra znajdują się chromosomy – splątane zwoje DNA i innych substancji. Człowiek ma czterdzieści sześć chromosomów, w każdym z nich DNA jest ściśle zwinęty. Te właśnie zwoje DNA są planem, według którego działa cała komórka.

347 Chromosomy człowieka są ciasno zwinęte. Gdyby je całkowicie rozwinąć, miałyby kilkanaście centymetrów długości, a mieszczą się z łatwością w jądrze o średnicy około 0,0025 cm. Upakowanie DNA w jądrze przypomina wypełnienie całego domu pozwijanym sznurem do bielizny. Niestychane splątanie chromosomów w komórce jest jednym z argumentów często wysuwanych w obronie tezy, że tzw. nieaktywny DNA musi zawierać instrukcje dla pracy genów. Jak inaczej komórka mogłaby wiedzieć, w którym miejscu ma „rozplatać” DNA, gdy musi skopioować trochę RNA?

348 Jąderko jest organellą w organelli i leży we-

wnętrz jądra. Jego funkcją jest produkowanie rybosomów.

349 Komórki czerwonych ciałek krwi człowieka nie mają jąder. Czerwone ciałka krwi to jedyne komórki nie posiadające jąder wśród wszystkich komórek ciała człowieka. Nie były wcale takie od urodzenia. Kiedy powstawały w szpiku kostnym, miały jądra jak wszystkie inne komórki – jak inaczej mogłyby się utworzyć? Jednakże wkrótce po powstaniu jądra są usuwane z komórek. Z tego powodu czerwone ciałka krwi nie są zdolne do regeneracji i umierają po około stu dwudziestu dniach.

Komórki prokariotyczne

350 W odróżnieniu od skomplikowanej komórki eukariotycznej komórki prokariotyczne są względnie proste. Składają się tylko z trzech części: błony komórkowej, kilku tysięcy rybosomów i względnie przezroczystego obszaru komórki, gdzie jest zlokalizowany DNA. Nie ma

w nich żadnych innych organelli i całej skomplikowanej maszyny komórki eukariotycznej.

351 W procesie ewolucji pierwsze powstały prawdopodobnie komórki prokariotyczne, a bardziej złożone komórki eukariotyczne pojawiły się później. Na podstawie bardzo rzadkich skamieniałości można wysnuć wniosek, że komórki prokariotyczne istniały już około 3,6 miliarda lat temu, podczas gdy eukariotyczne istnieją nieco dłużej niż miliard lat.

Tajemnica

352 Z czego wynikają tak uderzające różnice mię-

dzy komórkami eukariotycznymi a prokariotycznymi? Jeżeli komórki eukariotyczne wyewoluowały z komórek prokariotycznych, dlaczego brak stadiów, form pośrednich pomiędzy nimi? Dlaczego brak komórek z nie zorganizowanym w jądro DNA i z organellami?

Glupie pytanie

353 Czy to nie mogło być zrobione prościej? Pytanie to przychodzi na myśl, kiedy spojrzysz się na złożoną budowę komórki. Czy złożoność ta powstała podczas długiej ewolucji, czy też może jest to najbardziej wydajna struktura zdolna do robienia tego, co robi komórka?

Podział komórek

354 Właśnie teraz komórki w twoim ciele dzielą się z prędkością paru milionów na sekundę. Nie wszystkie jednak dzielą się tak samo szybko. Niektóre dzielą się tylko podczas wzrostu, potem ich podział usta-

je. Najszybciej dzielą się komórki błony śluzowej jelita cienkiego – co kilka dni. W odróżnieniu od nich komórki naszego układu nerwowego przestają się dzielić, kiedy osiągną dojrzałość. Pośrodku między tymi obiema skrajnoś-

ciami mieszczą się komórki dzielące się co kilka tygodni, takie jak komórki skóry.

Tajemnica

355 Co zmusza komórki do podziału? Dlaczego dzielą się one szybko w dzieciństwie, a później, gdy jesteśmy już dorośli, coraz wolniej lub wcale? Jest to coś więcej niż tylko akademickie pytanie, ponieważ wielu naukowców sądzi, że powodem powstawania raka jest uszkodzenie mechanizmu, który mówi komórce, kiedy przestać się dzielić. Jako dowód wskazują oni komórki guza, których liczba podwaja się co kilka dni, kiedy rosną w kulturze. Jeżeli natomiast z takich komórek powstają guzy, to ich wielkość podwaja się dopiero co kilka miesięcy lub lat. Wydaje się, że nawet w guzie istnieje mechanizm hamujący skłonność komórek do mnożenia się.

356 Materiał genetyczny komórki jest zawarty w chromosomach. Kiedy mikroskopy były jeszcze dość prymity-

wne, biolodzy – obserwując podział komórek – zauważyli, że tuż przed podziałem pojawiają się nagle w jądrze krótkie, włókniste obiekty. Obiekty te nazwano chromosomami, ponieważ absorbowwały substancje barwiące, dodawane w celu ułatwienia ich obserwacji pod mikroskopem.

Dzisiaj wiemy, że w chromosomach jest zgromadzony DNA, a podwajanie się liczby chromosomów jest zasadniczą cechą podziału komórkowego.

Chromosomy, oprócz DNA, zawierają jednak coś jeszcze. Choć szczegóły nie zostały dokładnie ustalone, wiadomo, że chromosom w komórce eukariotycznej jest strukturą złożoną. Okazało się, że nici podwójnej helisy DNA są nawinięte dookoła szeregu rdzeni zbudowanych z cząsteczek białka, przy czym każda nić DNA jest owinięta wokół wielu różnych rdzeni.

357 Gdyby cząsteczki DNA w pojedynczym chromosomie *E. coli* powiększyć do grubości sznura do bielizny, to by miały 8 km długości. Dobrze to ilustruje omawiany wcześniej problem, tj. konieczność istnienia, za-

kodowanej w DNA, instrukcji odnajdywania potrzebnego genu.

358 Kiedy zaczyna się podział komórki, chromosomy w wyniku spiralizacji skracają się i grubieją. Przez większość czasu chromosomy są cienkie i mają postać skłębionych nici. Dopiero tuż przed podziałem skręcają się i stają się widoczne pod mikroskopem. Faktu tego dotyczyło pytanie stawiane często przez biologów w XIX w.: „Co się dzieje z chromosomami, kiedy nie są widoczne, tzn. między podziałami komórki?” Na to pytanie można było odpowiedzieć dopiero wtedy, gdy wynaleziono lepsze mikroskopy. Chromosomy są cały czas w komórce.

359 Różne gatunki mają różne liczby chromosomów. Człowiek ma ich czterdzieści sześć (tj. dwadzieścia trzy pary), moskit – sześć, psy mają po siedemdziesiąt osiem, złota rybka – dziewięćdziesiąt cztery, a kapusta – osiemnaście. Wydaje się, że korelacja między złożonością organizmu a liczbą chromosomów jest bardzo mała.

360 Organizmem o największej liczbie chromosomów jest *Ophioglossum reticulatum* należący do klasy paproci. Ma on ich tysiąc dwieście sześćdziesiąt (sześćset trzydzieści par). Najmniejsza liczba chromosomów w normalnej komórce została znaleziona u pewnego gatunku australijskich mrówek – *Myrmecia pilosula*. Ciała ich robotnic są zbudowane z komórek zawierających zaledwie jedną parę chromosomów.

361 Proces podziału komórki na dwie komórki potomne, z których każda jest identyczna z oryginałem, nazywany jest mitozą. W taki sposób dzielą się komórki twojego ciała poza tymi, które produkują jaja i plemniki.

Pierwszym etapem mitozy jest podwojenie ilości DNA. Kiedy zostanie już podwojony cały zespół chromosomów, łączą się one w pary tak, że dwa identyczne chromosomy są związane ze sobą, przypominając kształtem literę X.

Podczas podwajania ilości DNA komórka zachowuje swój

normalny wygląd. Podział staje się widoczny wówczas, gdy chromosomy skręcają się, błona otaczająca jądro znika i odsłonięty materiał jądra staje się częścią całej komórki.

362 Tuż przed podziałem każdy chromosom podwaja się, syntetyzując swoją dokładną kopię. Połączone ze sobą pary chromosomów można sobie wyobrazić w postaci połączonych w pary skarpetek w szufladzie. W komórce istnieje mechanizm zwany wrzecionem podziałowym, który rozdziela chromosom od kopii. Wrzeciono podziałowe jest zbudowane z białek i wygląda jak południki wychodzące z jednego bieguna i zbiegające się w drugim. Każdy chromosom i jego kopia są ciągnięte przez wrzeciono w przeciwnym kierunku w taki sposób, że po rozerwaniu znajdują się na dwóch przeciwległych krańcach komórki. Kiedy dla wszystkich par chromosomów proces ten się zakończy, to każdy z dwóch identycznych kompletów chromosomów znajdzie się w innym krańcu komórki. Gdy chromosomy są już rozdzielone, zaczynają działać odpowiednie białka. Układa-

ją się obwodowo wokół komórki i zaczynają ją ścisnąć. Zmusza to komórkę do podziału.

363 Podczas podziału komórki ustaje praca genów. Kiedy zaczyna się podwajanie ilości DNA, normalne działanie genów jest zawieszane. Oznacza to, że wszystkie instrukcje dotyczące podziału muszą być wydane, zanim podział się rozpocznie. Instrukcje te obejmują także przygotowanie i zgromadzenie białek wchodzących w skład różnych struktur biorących udział w podziale. W komórkach człowieka typowy podział trwa około siedmiu godzin.

364 Historia życia komórek jest często przedstawiana na rysunku za pomocą koła. Przełomowe wydarzenia w życiu komórki zajmują różne części tego okręgu i komórka przechodzi przez nie jak wskazówka minutowa dookoła tarczy zegara. Początek procesu podziału to początek podwajania ilości DNA – jest to faza S na rysunku. Potem

następuje przerwa w czasie (nazywana G₂). Po niej rozpoczyna się mitoz (M). Po mitozie znów jest przerwa (G₁), podczas której komórka podejmuje swoje normalne funkcje, lecz nie wytwarza żadnego nowego DNA. Każda komórka „obiega ten zegar” w ciągu swego życia; jeden obieg to jeden podział komórki.



Cykl komórkowy.

365 Podział, który prowadzi do powstania komórek płciowych, jest nieco bardziej złożony niż normalna mitoz. W komórkach płciowych nie jest potrzebna dokładna reprodukcja komórki pierwotnej, zamiast tego musi powstać komórka z połową normalnej liczby chromosomów. Ten rodzaj podziału, który zaczyna się od normalnej ko-

mórki, a kończy na komórce z połową liczby chromosomów, nazwano mejozą. Początek mejozy jest podobny do początku mitozy – podwaja się liczba chromosomów. Następnie chromosomy homologiczne łączą się ze sobą w pary. Podobnie jak w mitozie formuje się wrzeciono podziałowe, lecz tym razem podwojone chromosomy (zamiast chromosomów pojedynczych) są przeciągane w przeciwnych stronach komórki. Kiedy ten proces zostanie zakończony, ponownie powstają, pod kątem prostym w stosunku do poprzednich, wrzeciona podziałowe i wówczas następuje rozdzielanie par. Komórka zatem dzieli się dwa razy i powstają cztery komórki, każda z nich ma połowę liczby chromosomów komórki pierwotnej. Nowo powstałe komórki to jaja lub plemniki, czyli komórki płciowe.

366 Komórki prokariotyczne rozmnażają się przez podział. Stosownie do ich statusu, jako prymitywnych przodków bardziej złożonych komórek eukariotycznych, chromosomy komórek prokariotycznych są luźnymi zwojami DNA, bez żadnych białek. DNA w komórce

prokariotycznej jest zazwyczaj przyłączony do zewnętrznej błony komórki. Kiedy DNA się replikuje, nowe chromosomy są również przyłączane do punktów na błonie.

Podział komórki jest dodatkowo skomplikowany wskutek konieczności rozpuszczenia błony między punktami przyczepienia chromosomów.

4

Fizyka klasyczna

Optyka klasyczna

367 Światło jest falą. Rozróżnia się dwa podstawowe sposoby przenoszenia energii. Jednym z nich jest wysłanie fali. Twierdzimy, że światło jest falą, ponieważ ulega interferencji. W przeciwieństwie jednak do niektórych rodzajów fal światło może rozchodzić się w próżni.

368 Światło jest cząstką. W XX w. zrozumieliśmy, że czasami światło wykazuje takie własności jak cząstki materii. Pierwszy dowód prawdziwości tego twierdzenia przedstawił Albert Einstein, wyjaśniając zjawisko fotoelektryczne. Cząsteczkę odpowiadającą światłu nazywano fotonem.

369 Barwa światła zależy od długości jego fali. Najdłuższe fale odpowiadają czerwieni, najkrótsze – fioletowi. Różnica barwy wiąże się z różnicą energii. Światło fioletowe ma największą energię, światło czerwone – najmniejszą.

370 Światło białe jest mieszaniną wszystkich kolorów. Kiedy Isaac Newton przystąpił

do badania natury światła, skierował je na szklany pryzmat, który odchylił każdą falę składową innej długości o inny kąt i utworzył tęczę kolorów. Po rozłożeniu światła na kolory składowe Newton wstawił do przyrządu drugi pryzmat, który ponownie „złożył” całą tęczę, w wyniku czego znów powstało światło białe.

371 Przedmioty są kolorowe dzięki sposobowi, w jaki światło oddziałuje z atomami. Kiedy mówimy, że „widzimy” obiekt, rozumiemy, że światło wędruje od tego obiektu do naszego oka, wywołując na siatkówce skomplikowane reakcje chemiczne. To, co odbieramy jako barwę, powstaje wskutek oddziaływania światła z atomami w obserwowanym obiekcie.

Odbierana przez nas barwa zależy nie tylko od długości fali światła. Kolorowe widzenie zależy również od tego, jakie inne barwy znajdują się w polu widzenia, a może nawet zależeć od stanu naszego umysłu. Kiedy widzimy kolor, widzimy wynik łącznego działania kilku skomplikowanych procesów: dochodzenia do oka światła, fizjologii połą-

czeń nerwowych w naszym oku, a także przetworzenia sygnałów nerwowych przez mózg.

372 Kiedy obiekt emituje światło, elektrony w jego atomach wykonują skoki kwantowe. Oznacza to, że pojedyncze atomy lub cząsteczki materiału, z którego składa się obiekt, wysyłają promieniowanie o określonej energii i długości fal; promieniowanie to odbieramy jako barwne. Oczywiście energia potrzebna do wytworzenia tego promieniowania musi być dostarczona z jakiegoś źródła. Jednym z pospolitych sposobów dostarczenia atomowi energii potrzebnej do wyemitowania światła jest ogrzanie go. Z tego powodu płomienie często są kolorowe.

373 Obserwując ognisko, można zobaczyć, jak atomy zaczynają emitować światło. Wystarczy przyjrzeć się uważnie, by dostrzec małą ciemną przerwę między drewnem a płomieniem. W prze-rwie tej znajdują się gazy wydobywające się z drewna, lecz są jeszcze za zimne, aby mogła nastąpić ich reakcja z tlenem. Dopiero gdy ona nastąpi, ato-

my będą miały dosyć energii, aby utworzyć płomień i emitować światło.

374 Aby światło mogło zostać odbite, najpierw musi być zaabsorbowane, czyli pochłonięte, a następnie wtórnie wyemitowane. Światło opuszczające ciało może mieć tę samą długość fali co światło zaabsorbowane lub inną. Kiedy patrzymy na obiekt, widzimy, że światło jest charakterystyczne dla tego obiektu, a niekoniecznie dla światła padającego. Z tego powodu trawa i cegła mają różne kolory, chociaż pada na nie to samo światło słoneczne.

375 O kolorach wielu materiałów decyduje światło przez nie zaabsorbowane. Gdy materiał absorbuje światło, to z jego energią może się wiele wydarzyć. Zazwyczaj energia ta jest po prostu pochłaniana i zamieniana na przykład na energię kinetyczną atomów, która jest rozpraszana do atmosfery w postaci ciepła. W takim przypadku do oka docierają barwy, które nie zostały zaabsorbowane. Dla przykładu chlorofil absorbuje fotony z czerwonej i niebieskiej części widma, przekształcając ich

energję w substancje pokarmowe potrzebne roślinie. Chlorofil nie absorbuje zieleni i z tego powodu liście są zielone.

376 Materiały fluorescencyjne świecą bardzo jasnowo tylko wtedy, kiedy są oświetlone promieniowaniem nadfioletowym. W materiałach tych zachodzi następujący proces. Promieniowanie nadfioletowe jest absorbowane przez atomy, które następnie emitują światło widzialne. Może ono być emitowane natychmiast i w tym przypadku świecenie obserwuje się tylko tak długo, jak długo działa źródło nadfioletu. To właśnie zjawisko jest prezentowane jako „czarne światło” w nocnych klubach. Światło może być też emitowane kilka godzin, a nawet dni, później, niż został naświetlony materiał. W tym przypadku mamy do czynienia z materiałem „świejącym w ciemności”. W zjawisku fluorescencji widzimy światło emitowane bezpośrednio przez atomy, a nie to, co pozostało ze światła po jego odbiciu, co wyjaśnia, dlaczego kolory są tak żywe i jasne.

377 Kiedy światło przechodzi przez materiał, to absor-

bowane są tylko fale pewnych długości. Barwy światła przechodzącego przez materiał mogą, ale nie muszą, być takie same jak barwy odbite od cienkiej warstwy atomów na powierzchni ciała. Zależy to od rozmieszczenia atomów wewnątrz ciała. Wyjaśnia to, dlaczego pewne materiały, na przykład liście, wyglądają inaczej, gdy patrzy się na nie od spodu, a inaczej, gdy patrzy się na światło odbite od ich powierzchni.

Pytanie

Dlaczego witraże wydają się w nocy szare od strony oświetlonego wnętrza kościoła, lecz jasne i kolorowe z zewnątrz? Odpowiedź: Ponieważ od strony wnętrza kościoła widać światło odbite od witraży, a z zewnątrz – przechodzące.

378 Niebo jest niebieskie dzięki sposobowi, w jaki cząsteczki powietrza rozpraszają światło. Kiedy białe światło słoneczne napotyka atomy i cząsteczki powietrza, to jego niebieska część rozprasza się na nich znacznie silniej niż czerwona. W praktyce oznacza to, że niebieska część widma słonecznego jest

przez atmosferę rozproszona, a czerwona nie. Z tego powodu słońce wydaje się żółte (żółty = biały minus niebieski), a niebo niebieskie – ta właśnie barwa dociera do nas od cząsteczek powietrza. Zawiesiny drobnych cząstek stałych w atmosferze, takie jak dym czy pyły, rozpraszają fale światła każdej długości jednako-wo i stąd światło przez nie rozpraszane jest białe. Obecność tych cząstek powoduje zamglenie nieba i błądy pierścieni dookoła słońca widoczny w jasny dzień.

379 Oczy nowo narodzonego dziecka są błękitne, ponieważ małe cząsteczki materii w tęczówce rozpraszają przede wszystkim światło niebieskie, tak jak cząsteczki powietrza. Kolor oczu dziecka może się zmienić po pewnym czasie, kiedy wytworzy się w nich pigment, który nada oczom właściwy im kolor.

380 Światło słoneczne i światło lampy jarzeniowej może dla oka wyglądać tak samo, lecz w rzeczywistości na światło białe w nich składają się nieco odmienne mieszaniny światła różnych długości fal. Dlatego również światło, któ-

re jest wtórnie emitowane przez obiekty oświetlone słońcem i lampą, nieco się różni. Na przykład ubrania mają często inne kolory w sklepie niż na ulicy.

Instrumenty optyczne

381 Działanie soczewek polega na załamaniu i skupianiu fal światła. W typowych soczewkach światło pada na zakrzywioną powierzchnię szkła, załamuje się na niej, przechodzi przez szkło i opuszczając soczewkę, ponownie się załamuje. Soczewki tworzą obraz, który na ogół różni się rozmiarami od przedmiotu, toteż oglądany przez nie obraz może być mniejszy lub większy niż przedmiot rzeczywisty. Soczewki mogą być wklęsłe, kiedy szkło w środku jest cieńsze niż na brzegach, lub wypukłe, gdy jest odwrotnie. Promienie świetlne z bardzo odległego źródła, padając na soczewkę wypukłą, zbiegają się w jednym punkcie zwanym ogniskiem; odległość ogniska od soczewki to ogniskowa. Im bardziej wypukła jest soczewka, tym krótsza jej ogniskowa i większa zdolność skupiająca.

382 Soczewka w oku człowieka, w przeciwieństwie do soczewek szklanych, może zmieniać swoją ogniskową. Pierścień mięśni dookoła soczewki oka może ją spłaszczyć lub pogrubić. Im bliżej oka znajduje się przedmiot, tym bardziej kurczą się mięśnie i soczewka staje się grubsza. Gdy przedmiot jest dalej, mięśnie się rozluźniają i soczewka się spłaszcza.

383 Załamanie światła zależy od długości jego fali. Powierzchnia szkła załamuje czerwone światło o większy kąt, mierzony względem prostej prostopadłej do powierzchni, niż zielone, a zielone – o większy kąt niż niebieskie. Oznacza to, że obrazy tworzone przez soczewkę (a także jej ognisko) wypadną w nieco innych miejscach dla różnych kolorów; w miejscu zatem, gdzie obraz niebieski jest ostry, czerwony będzie nieco rozmyty. Taka sytuacja, zwana aberracją chromatyczną, wymaga odpowiedniej korekcji. W przeciwnym razie obraz utworzony przez soczewkę będzie nieostry i otoczony obwódkami o różnych barwach.

384 Tęcza tworzy się przez załamanie światła słone-

cznego w spadających kroplach deszczu. Kiedy stoisz plecami do słońca i patrzysz na chmurę, z której pada deszcz, to widzisz światło, które weszło do wnętrza kropli, odbiło się od jej tylnej ścianki i przeszło przez przednią ściankę w kierunku oka. W tej wędrówce światło się załamuje i rozszczepia na kolory składowe. Każdej barwie odpowiada inny kąt. Różne kolory, które można obserwować w tęczy, pochodzą od różnych kropel. Do oka dochodzi światło niebieskie od kropli znajdujących się bliżej ziemi niż te, od których dochodzi światło czerwone.

385 W XVIII w., kiedy astronomowie zaczęli budować pierwsze duże teleskopy, chętniej używali do ich konstrukcji zwierciadeł niż soczewek, nikt bowiem nie wiedział, jak sobie radzić z aberracją chromatyczną. Otrzymanie ostrego obrazu gwiazd było możliwe tylko za pomocą teleskopów odbijających, wyposażonych w zwierciadła metalowe (patrz niżej). W XIX w. nauczono się korygować aberrację chromatyczną i budowano już teleskopy z dużymi soczewkami. W XX stuleciu na-

stał się powrót do teleskopów zwierciadlanych.

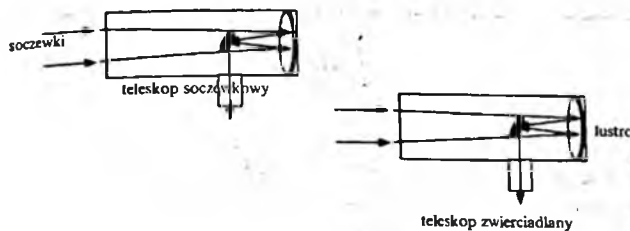
386 Typowy prosty mikroskop składa się z dwu soczewek, które wspólnie tworzą powiększony obraz małego obiektu. W historii biologii najwięcej organizmów jednokomórkowych odkryto za pomocą mikroskopów tego typu. Rozmiar najmniejszych obiektów obserwowanych przez mikroskop zależy w pewnej mierze od jakości soczewek, lecz w żadnym razie nie można zobaczyć szczegółów mniejszych niż długość fali użytego światła. Im mniejszy jest obserwowany obiekt lub szczegół, który chcemy obejrzieć, tym mniejszą długość fali musi mieć światło użyte do oświetlenia obiektu.

387 Można skonstruować mikroskop, w którym zamiast światła używa się elektronów, ponieważ te mogą się zachowywać jak fale. Różnica polega na tym, że fale elektronowe mają bardzo małe długości. Dlatego też w mikroskopach elektronowych obserwuje się znacznie mniejsze szczegóły niż w optycznych. W mikroskopach elektro-

nowych magnesy odgrywają rolę soczewek, a obrazy są tworzone za pomocą technik podobnych do telewizyjnych.

388 Mikroskop skaningowy (SPM) umożliwia uzyskanie „obrazów” pojedynczych atomów. Najdoskonalsza wersja tego mikroskopu – skaningowy mikroskop tunelowy (STM) – działa następująco. Blisko powierzchni próbki umieszcza się ostrze. Między ostrzem a chmurą elektronową otaczającą atomy tworzące powierzchnię próbki przepływa prąd. Im mniejsza przerwa między ostrzem a powierzchnią, tym większe jest natężenie płynącego prądu. Przesuwając wielokrotnie ostrze nad próbką, można otrzymać obraz chmur elektronowych (a tym samym pojedynczych atomów).

389 Najważniejszym instrumentem w astronomii jest teleskop. Przez cały wiek XIX najczęściej posługiwano się teleskopem typu pokazanego na lewym rysunku. Światło zbierane przez wielką soczewkę trafia do obserwatora przez szereg okularów. Taki teleskop nazywa się refraktorem. Na przełomie stulecia pojawiły się teleskopy zwane



Teleskop soczewkowy i zwierciadlany.

reflektorami astronomicznymi (prawy rysunek). Światło w nich skupiane jest przez duże zwierciadło wklęsłe, a następnie przez drugie zwierciadło kierowane do okularu, który tworzy obraz właściwy. Zwrot ku reflektorom nastąpił wskutek braku możliwości wykonania odpowiednio dużych soczewek tak wysokiej jakości, by można było zarejestrować światło pochodzące od bardzo odległych galaktyk. Największy, zado-walająco działający teleskop zwierciadlany znajduje się w obserwatorium na Mount Palomar w Kalifornii.

390 Teleskopy uwzględniające najnowsze zdobycze techniki pojawią się dopiero w przyszłości. Nowa generacja teleskopów powstanie z połączenia optyki z najnowocześniejszą elektroniką. Teleskopy te będą się składały ze zbioru małych

zwierciadeł. Każde z nich będzie osobno sterowane elektronicznie tak, żeby obrazy utrzymywały się w ognisku. Zbierając elektronicznie obrazy ze wszystkich małych zwierciadeł, otrzymamy obraz złożony. Jakość takiego obrazu będzie porównywalna z jakością obrazu otrzymanego z jednego ogromnego zwierciadła.

Technika ta została po raz pierwszy zastosowana do budowy wielozwierciadłowego teleskopu Smithsona w Arizonie w latach siedemdziesiątych i w tej czy innej formie będzie użyta do budowy większości nowych teleskopów. Teleskop Kecka, budowany ostatnio przez Caltech (California Institute of Technology) na Hawajach, ma układ małych zwierciadeł, które wyglądają jak warstwa chipsów ziemniaczanych, lecz jego zwierciadło jest w efekcie dwukrotnie większe niż teleskopu na Mount Palomar.

Fale

391 Fale są jednym z dwóch podstawowych sposobów przenoszenia energii. Istnieją tylko dwa sposoby przenoszenia energii na odległość. Przypuścimy, że stojąc w jednym końcu pokoju, chcemy przewrócić kartonik po mleku stojący w jego drugim końcu. Można rzucić wań pileczką, póki się nie przewróci – jest to przykład przenoszenia energii za pomocą cząstek materialnych. Można też między sobą a kartonikiem ustawić rząd kręgli tak, aby po popchnięciu pierwszego przewracały się kolejne, przewracając w końcu także kartonik. W tym przypadku energia zostanie przeniesiona do kartonu nie przez pojedynczą cząstkę, lecz przez falę.

392 Ruch fali nie jest tym samym co ruch materii, w której fala się przemieszcza. Kiedy kąpiemy się w morzu i nadpływa fala, to unosi nas ona w górę i w dół, również woda wokół nas porusza się w górę i w dół, natomiast fala płynie w kierunku plaży. Fala płynie zatem ku pla-

ży, a woda porusza się w górę i w dół i na tym właśnie polega różnica. Jeżeli, jak w przypadku wody, ośrodek porusza się prostopadle do kierunku rozchodzenia się fali, to mamy do czynienia z falą poprzeczną. Jeżeli ośrodek przemieszcza się w tym samym kierunku co fala, tak jak na przykład dźwięk lub niektóre fale sejsmiczne, to mówimy, że fala jest podłużna.

393 Falę określamy: częstotliwość, długość i prędkość. Długość fali jest odległością między jej grzbietami; częstotliwość to liczba grzbietów przepływających w czasie 1 sekundy; prędkość fali jest prędkością przemieszczania się w danym ośrodku pojedynczego grzbietu fali. Jednostką częstotliwości jest herc (Hz). Jeżeli fala ma częstotliwość równą 1 Hz, to co 1 sekundę jeden grzbiet tej fali mija ustalony punkt odniesienia. Jednostkę nazywano tak na cześć niemieckiego fizyka Heinricha Hertza, odkrywcy fal radiowych.

Interferencja fal

394 Unikatową własnością fal jest interferencja. Zjawisko to może być obserwowane zawsze, kiedy spotykają się fale z dwóch różnych źródeł. Na przykład kiedy dwie motorówki ścigają się na spokojnym jeziorze, każda z nich pozostawia za sobą falę. W pewnych miejscach na jeziorze fale te nałożą się na siebie i zaobserwujemy interferencję. Wynik tego nałożenia zależy od wzajemnego położenia obu fal.

Lubię wyobrażać to sobie następująco. Przypuścimy, że każda fala wydaje powierzchni wody instrukcje. Jeżeli dwa grzbiety fal przyplyną do jednego punktu w tym samym czasie i każdy z nich wyda instrukcję „5 cm w górę”, to woda podniesie się o 10 cm, tzn. dwukrotnie wyżej niż od każdej fali z osobna. Nazywa się to wzmocnieniem.

Jeżeli grzbiet jednej fali napotka dolinę drugiej, to woda od jednej fali dostaje instrukcję „5 cm w górę”, a od drugiej – „5 cm w dół”. Wtedy woda nie porusza się wcale. Jest to przykład wygaszania fal. W miejscach, gdzie fale spotykają się w stadiach pośrednich między ekstremami, wyni-

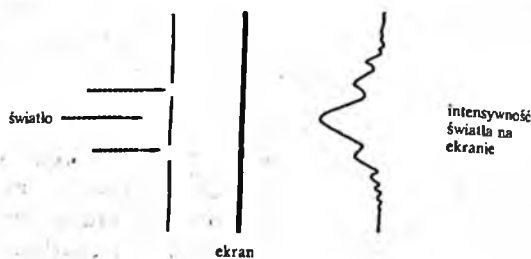
kiem ich nałożenia się będzie stan pośredni między wzmocnieniem a wygaszeniem.

395 Zjawisko interferencji odróżnia fale od cząstek. Dwie fale mogą się spotkać ze sobą w jednym punkcie i wytworzyć w nim całkowity brak fali. Dwie cząstki materii nie mogą tego zrobić. Wynikiem zderzenia dwóch piłek nigdy nie będzie „brak piłki”.

396 Jeżeli nakładają się na siebie fale świetlne, to w miejscach, gdzie następuje wygaszenie, jest czarna plama. Te czarne plamy można zobaczyć, obserwując światła uliczne przez żaluzje okienne. Widzi się wtedy „krzyż” z jasnymi i ciemnymi miejscami na ramionach.

Na widowni sal teatralnych spotyka się „gluche miejsca”. Są to miejsca, w których fale dźwiękowe nadchodzące ze sceny wygaszają się w wyniku interferencji z falami odbitymi od ścian. Jeżeli na koncercie trafi się na takie miejsce, należy je koniecznie zmienić, gdyż nie ma żadnego innego sposobu na poprawienie słyszalności.

397 Falowa natura światła została stwierdzona za pomocą doświadczeń wykazujących, że światło ulega interferencji. Dokonał tego angielski fizyk Thomas Young (1773–1829), rzucając światło na ekran przez przesłonę z dwiema szczelinami (patrz rysunek). Fale biegną od tych szczelin w kierunku ekranu, interferując ze sobą. Wynik pokazano na rysun-



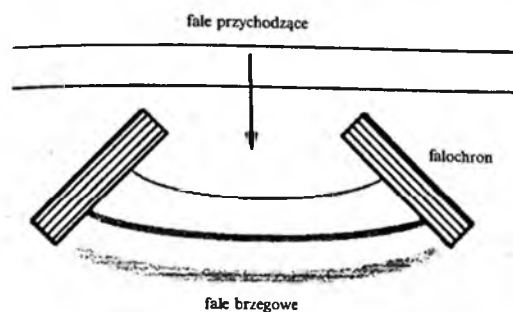
Typowe doświadczenie demonstrujące zjawisko interferencji fal świetlnych.

ku po prawej stronie. W środku, pomiędzy dwoma szczelinami, fale uległy wzmocnieniu, tworząc jasny prążek. Po obu jego stronach występują na przemian jasne i ciemne prążki odpowiadające wzmocnieniu i wygaszaniu. Gdyby światło było strumieniem cząstek takich jak piłeczki, nie otrzymalibyśmy nigdy tego jasnego centralnego prążka.

398 Fale mogą „skręcić za róg”. Gdybyś kiedyś w słoneczny dzień leciał samolotem do miasta leżącego nad zatoką, mógłbyś zobaczyć z góry widok naszkicowany na rysunku (s. 159). Fale nadpływające z jeziora lub oceanu trafiają na falochron i poczynając od falochronu, wpływają do zatoki w różnych kierunkach. Oznacza to, że ktoś stojący na końcu falochronu zobaczy dopływające doń fale,

mimo że nigdy nie dotarłyby do niego, poruszając się po liniach prostych. Ta zdolność fal do uginania się na krawędziach przeszkody jest zjawiskiem znanym jako dyfrakcja i stanowi jeszcze jedną różnicę między falami a cząstkami.

399 Jeżeli fale napotkają na swej drodze jakąś powierzchnię (np. szkła), to mogą się odbić lub załamać, lub zostać pochłonięte. Załamując się fala



Uginanie się fal na krawędzi przeszkody.

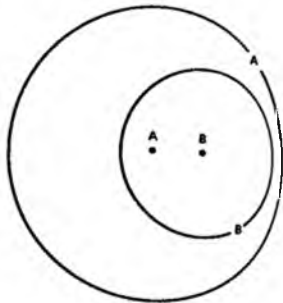
zmienia kierunek. Najłatwiejszym sposobem wyobrażenia sobie tego jest zapamiętanie, że światło porusza się wolniej w szkłe niż w powietrzu. Kiedy czoło fali dociera do szkła, zachowuje się jak kolumna maszerujących żołnierzy trafiająca na bagno położone skośnie do kierunku marszu. Pierwszy żołnierz schodzi w bagno i musi zwolnić, żołnierz idący obok niego może jeszcze postawić krok z poprzednią prędkością, a następnie wchodzi do bagna i zwalnia. W ten sposób wchodzi do bagna wszyscy po kolei. Kiedy się już tam znajdują, okaże się, że nastąpiła zmiana kierunku marszu. Tak samo zmienia kierunek światło, kiedy wchodzi do szkła lub innego materiału. Załamanie fal może

nastąpić także wtedy, gdy na ich drodze nie ma ostrej granicy między dwoma ośrodkami. Na przykład fale sejsmiczne biegnące pod powierzchnią Ziemi napotykać na swej drodze skały, których gęstość i skład zmieniają się stopniowo. Te fale również zmieniają kierunek wskutek załamania, lecz jest to zmiana ciągła, a nie skokowa. Z tego powodu fale sejsmiczne poruszają się pod powierzchnią Ziemi po torach zakrzywionych.

400 Kiedy widzimy na gorącej nawierzchni szosy coś, co wygląda jak kałuża, to w rzeczywistości widzimy światło, które, biegnąc od słońca ku szosie, załamało się

w gorącym powietrzu i, tak odchylone, trafiło do naszego oka.

zbliży się źródło światła, zobaczy światło przesunięte ku niebieskiemu krańcowi widma, a ta, od której źródło się oddala – przesunięte ku czerwieni.



Powstawanie zjawiska Dopplera.

Pytanie

Podaj przykład zjawiska Dopplera, którego sam doświadczyłeś. Odpowiedź: Dźwięk klaksonu lub warkot silnika samochodu zmienia ton, gdy samochód wyprzedza cię na szosie.

402 Radar policyjny wysyła fale radiowe, które są absorbowane przez atomy twojego samochodu. Samochód emituje fale wtórne, które rejestruje odpowiednia aparatura. Ponieważ samochód

401 Jednym z najważniejszych zjawisk falowych jest zjawisko Dopplera. Otrzymało nazwę od nazwiska odkrywcy, austriackiego uczonego Christiana Dopplera (1803–1853). Jeżeli źródło fal porusza się, to w każdym miejscu emituje falę kulistą rozchodzącą się koncentrycznie od tego miejsca. Tak więc kula, która na rysunku oznaczona jest literą „A”, przedstawia grzbiet fali wyemitowanej, gdy źródło było w punkcie A, a kula oznaczona jako „B” przedstawia grzbiet fali wyemitowanej, gdy źródło było w punkcie B itd. Sumaryczny efekt ruchu źródła jest taki, że ktoś stojący przed źródłem, tzn. obserwujący jego zbliżanie, zobaczy zagęszczone grzbiety fal, podczas gdy ten, kto stoi za źródłem (tzn. widzi jego oddalanie), będzie obserwował rozrzedzone grzbiety fal. Jeżeli jest to fala dźwiękowa, osoba stojąca przed źródłem będzie słyszała wyższy dźwięk niż osoba znajdująca się za oddalającym się źródłem. Jeżeli emitowaną falą jest światło, to osoba, do której

znajduje się w ruchu, emitowana przez niego fala będzie mieć zmienioną długość w stosunku do długości fali wysłanej przez radar wskutek efektu Dopplera. Wielkość tej różnicy długości fal, nazywanej przesunięciem dopplerowskim, zależy od prędkości pojazdu. Tak więc odkrycie będące wkładem Dopplera w naukę jest teraz między innymi używane do kontroli ruchu drogowego na zatłoczonych szosach.

sowe, cząsteczki powietrza zbliżają się do siebie i oddalają, a ruch ten daje początek fali. Kiedy przemieszcza się fala dźwiękowa, cząsteczki powietrza poruszają się w przód i w tył w kierunku ruchu, a nie w górę i w dół jak w przypadku fal na wodzie. W obszarach, gdzie cząsteczki są gęściej upakowane, ciśnienie jest wyższe. To jest grzbiet fali dźwiękowej. Kiedy fala ta dociera do ucha, naciska błonę bębenkową, zapoczątkowując proces słyszenia. Im większa częstotliwość fali, tym wyższy ton odbieramy. Im wyższe jest ciśnienie w grzbiecie fali, tym głośniejszy dźwięk odbiera nasze ucho.

403 Dźwięk jest falą. Kiedy drgają nasze struny gło-

Elektryczność i magnetyzm

404 Pomiędzy elektrostatycznym zlepianiem się ubrań a magnesem, którym przypinasz notatki do lodówki, istnieje ścisły związek, ponieważ występuje on między wszystkimi zjawiskami elektrycznymi i magnetycznymi. Odkrycie go było jednym z największych osiągnięć dzieniąstowiecznej fizyki. Obec-

nie uważamy, że elektryczność i magnetyzm są po prostu różnymi przejawami jednego fundamentalnego oddziaływania, nazywanego oddziaływaniem elektromagnetycznym.

405 Prąd elektryczny powoduje zjawiska magnetyczne. Jeżeli przez przewód prze-

puszczamy prąd elektryczny, to igła magnetyczna kompasu umieszczonego w pobliżu odchyła się. Innymi słowy, prąd elektryczny, czyli poruszające się ładunki elektryczne, powoduje powstanie pola magnetycznego. Był to pierwszy związek, jaki odkryto między elektrycznością a magnetyzmem. Odkrycie to zostało dokonane niemal mimo woli eksperymentatora. Był nim Hans Christian Oersted (1777–1851), duński fizyk, który namiętnie lubił demonstrować doświadczenia na wykładach dla studentów. Któregoś dnia, kiedy krzątał się dookoła dużego stołu stojącego przed audytorium i pełnego różnej aparatury, zauważył, że za każdym razem, kiedy włączał baterię w obwód elektryczny, powodując przepływ prądu, poruszała się igła kompasu leżącego w pobliżu. Ten przypadek stał się podstawą jednego z największych odkryć doświadczalnych.

406 Wielką zaletą elektromagnesu jest możliwość włączania i wyłączania. Elektromagnes to zwoj lub wiele zwojów drutu, przez który płynie prąd elektryczny. Przepływ prądu powoduje powstanie pola magnetycznego – im więcej zwojów drutu

(i silniejszy prąd), tym silniejsze pole. Zwoj drutu zachowuje się więc jak magnes i może również podnosić do góry metalowe opilki.

Siłę elektromagnesu można regulować przez zwiększanie lub zmniejszanie natężenia prądu płynącego w drucie. Elektromagnes jest używany na przykład na złomowiskach. Służy do podnoszenia i przenoszenia w inne miejsce wraków samochodów. Kiedy przez elektromagnes płynie prąd, samochód jest przyciągany i unoszony do góry (zazwyczaj elektromagnes jest zawieszony na ramieniu dźwigu). Nad nowym miejscem składowania wraka operatorem wyłącza prąd, elektromagnes przestaje przyciągać i samochód spada, ponieważ siła grawitacji nie jest już równoważona siłą przyciągania elektromagnesu.

407 Pole magnetyczne wywołuje zjawiska elektryczne. Jest to kolejny związek między elektrycznością a magnetyzmem. Kiedy porusza się magnesem w pobliżu pętli z drutu lub obraca się taką pętlę w pobliżu magnesu, to popłynie w niej prąd elektryczny, mimo że nie ma w niej żadnego źródła prądu. Zjawisko to, znane jako „indukcja

elektromagnetyczna”, zostało odkryte przez Michaela Faradaya. Jego odkrycie spowodowało całkowite uzależnienie naszego społeczeństwa od elektryczności.

408 Największa moc elektryczna jest generowana za pomocą indukcji. W generatorze elektrycznym do obracania wału używa się jakiegoś źródła energii: palącego się węgla, spadającej wody itp. Do wirującego wału jest przymocowany zwoj z przewodu elektrycznego, znajdujący się między biegunami magnesu. Wirowanie zwoju w polu magnetycznym powoduje powstanie w nim prądu elektrycznego. Prąd ten jest przesyłany liniami wysokiego napięcia do odbiorców. Trafia również do twojego domu, gdzie zasila lampy, piece, aparaturę stereo i całą resztę domowych urządzeń elektrycznych.

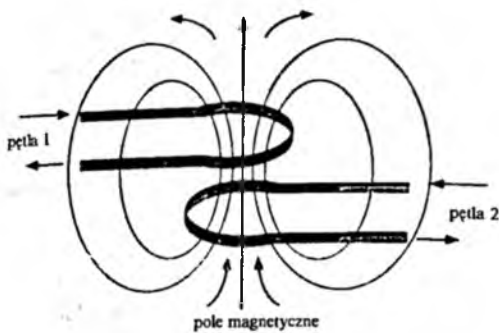
409 Generatory oparte na zjawisku indukcji elektromagnetycznej produkują prąd zmienny. Bierze się to stąd, że kiedy zwoj drutu obraca się w polu magnetycznym, prąd w drucie przez połowę okresu płynie w jedną stronę, a przez drugą połowę – w przeciwną. Ponieważ w Stanach Zjednoczonych niemal cała

energia elektryczna jest produkowana przez generatory rotacyjne, otrzymuje się ją w formie prądu zmiennego (AC).

Pytanie

Jak szybko obracają się generatory w elektrowni? Odpowiedź: Częstotliwość prądu elektrycznego wytwarzanego w Polsce wynosi 50 Hz. Prąd elektryczny w USA ma znormalizowaną, ustaloną częstotliwość 60 Hz, co oznacza sto dwadzieścia zmian kierunku w ciągu 1 sekundy.

410 Cały czas używasz transformatorów, nawet jeśli o tym nie wiesz. Schemat najprostszego transformatora jest przedstawiony na rysunku. Zmienny prąd elektryczny płynie przez jeden zwoj drutu. Prąd ten tworzy zmienne pole magnetyczne, które z kolei powoduje przepływ prądu w drugim zwoju. W ten sposób jeden zwoj działa na drugi, mimo że się nie stykają. Doprowadzony do mieszkań prąd o napięciu 220 V (115 V w USA) jest w wielu domowych urządzeniach elektrycznych przetwarzany na prąd o niższym napięciu i wyższym natężeniu. Tak jest na przykład



W prostym transformatorze zmienne pole magnetyczne, wytworzone przez prąd zmienny w jednej pętli, wytwarza zmienny prąd w pętli drugiej.

w komputerze, telewizorze, aparaturze stereo. Transformatory w tych urządzeniach można poznać po zwojach drutu nawiniętego na żelazny rdzeń, co powoduje, że są dość ciężkie i masywne.

411 Na duże odległości najbardziej ekonomiczne jest przesyłanie energii pod bardzo wysokim napięciem. Linie przesyłowe wyprowadzone z elektrowni przenoszą prąd elektryczny pod napięciem 500 000 V i większym. Linie wysokiego napięcia są rozciągnięte na wielkich słupach. Łatwo je można zobaczyć w okolicach elektrowni. Zanim prąd z elektrowni popłynie tymi liniami, trafia do transformatorów, które podwyższają napięcie i obniżają natężenie prądu.

Im wyższe napięcie, tym niższe natężenie, a tym samym niższe straty energii na ogrzewanie przewodów.

Równania Maxwella

412 Równania Maxwella połączyły zjawiska elektryczności i magnetyzmu. Odegrały tę samą rolę w dziedzinie elektryczności i magnetyzmu co prawa Newtona w mechanice. Zostały zapisane pierwszy raz w 1870 r. przez szkockiego fizyka Jamesa Clerka Maxwella. Te cztery równania stanowią podsumowanie wszystkiego, co wiemy o elektryczności, magnetyzmie i zależnościach między nimi. Słowami można je wyrazić następująco:

1. Ładunki różnoimienne przyciągają się, a jednoimienne – odpychają (prawo Coulomba).
2. Nie istnieją izolowane bieguny magnetyczne.
3. Prąd elektryczny powoduje powstanie pola magnetycznego.
4. Zmiana pola magnetycznego może wywołać przepływ prądu elektrycznego.

był dzień, w którym profesor napisał równania Maxwella na tablicy, a ja odkryłem, że wszystkie skomplikowane zagadnienia, jakie omawialiśmy przez cały rok, są zawarte w równaniach mieszczących się na małym fragmencie kartki. Z takich chwil olśnienia składają się kariery naukowców.

414 Najważniejszą i natchniętą konsekwencją równań było przewidzenie przez Maxwella na ich podstawie możliwości istnienia fal elektromagnetycznych, co doprowadziło do odkrycia fal radiowych i mikrofal. Za każdym razem, kiedy włączysz telewizor, słuchasz radia lub prowadzisz transkontynentalną rozmowę telefoniczną, używasz techniki będącej konsekwencją pracy Maxwella.

Właściwe pytanie

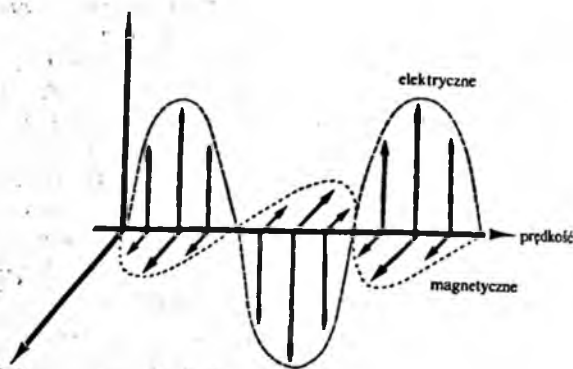
413 Dlaczego prawa te nazywano prawami Maxwella, chociaż żadne z nich nie zostało przez niego odkryte? Maxwell nie odkrył żadnego z podanych wyżej praw. Jego wkład w naukę polegał na: 1) stwierdzeniu, że te cztery prawa stanowią podstawę teorii elektryczności i magnetyzmu; 2) wprowadzeniu małego dodatku do trzeciego prawa, a mianowicie, że zmiana prądu może spowodować powstanie pola magnetycznego. Z tym dodatkiem cztery prawa ułożyły się we właściwą całość i stało się jasne, że jest w nich zawarte wszystko, co wiemy o elektryczności i magnetyzmie. Jednym z najniezwyklejszych momentów moich studiów

415 Maxwell był pionierem fotografii kolorowej. Pierwsza kolorowa fotografia, jaką kiedykolwiek wykonano, stanowiła część jego pracy doktorskiej. Jest to zdumiewająco dobre zdjęcie kiści winogron. Ciągle jeszcze można je oglądać na uniwersytecie w Cambridge, gdzie studiował jego autor.

Promieniowanie elektromagnetyczne

416 Światło, fale radiowe, promienie X to przykłady promieniowania elektromagnetycznego. Na rysunku jest przedstawiona fala elektromagnetycz-

na. Można ją sobie wyobrazić jako pole elektryczne i pole magnetyczne rozchodzące się w przestrzeni w sposób podobny do fal na jeziorze.



Fala elektromagnetyczna.

417 Wszystkie fale elektromagnetyczne rozchodzą się w próżni z prędkością światła. W próżni prędkość ta wynosi 300 000 km/s. Prędkość światła w próżni oznaczana jest zazwyczaj symbolem „c”.

418 James Clerk Maxwell pierwszy przewidział możliwość istnienia fal elektromagnetycznych. Odkrył, że z równań noszących teraz jego imię wynika istnienie fal, możliwość ich rozchodzenia się w próżni (on zape-

wne powiedział: „w eterze”), jak też to, że będą wyglądały tak jak na powyższym rysunku. Kiedy obliczył, z jaką prędkością fale te powinny się rozchodzić, otrzymał w wyniku 300 000 km/s. Wiedząc oczywiście, że jest to prędkość światła, zidentyfikował te nowe fale jako światło.

Kiedy już zrozumiał, że w jego równaniach kryje się nowy rodzaj fal, doszedł także do wniosku, że może istnieć, prócz zwykłego światła, wiele rodzajów tych fal. Przewidział też istnienie takich fal jak radiowe, które następnie odkrył Heinrich Hertz w 1888 r. Od tego czasu odkryto wiele innych typów promieniowania elektromagnetycznego (omówiono je poniżej).

419 Większość ludzi wiąże nazwisko Guglielmo Marconiego (1874–1937) z wynalezieniem radia. Marconi wykorzystał odkryte przez Hertza fale radiowe do przesłania sygnałów na dużą odległość. To właśnie on przesłał pierwszą wiadomość radiową przez Atlantyk.

420 Wszystkie fale elektromagnetyczne składają się

na widmo fal elektromagnetycznych. Znamy dzisiaj wiele rodzajów tych fal, począwszy od radiowych (długości rzędu tysięcy kilometrów) do tzw. promieni gamma (długości mniejszych niż rozmiary cząstek elementarnych). Fale te różnią się od siebie jedynie długością – poza tym są identyczne i mają taką strukturę jak na rysunku.

Poniżej przedstawiono listę znanych rodzajów fal.

Nazwa fal	Długość fali
fale radiowe modulowane amplitudowo	dziesiątki do setek kilometrów
fale radiowe modulowane częstotliwościowo	metry do kilometrów
mikrofale promieniowanie podczerwone	centymetry
światło czerwone	tysięczne części centymetra
światło fioletowe	8000 atomów
promieniowanie nadfioletowe	4000 atomów
promienie X	setki atomów
promienie gamma	kilka atomów
	rozmiar jądra atomowego do rozmiaru atomu

421 Światło widzialne stanowi tylko małą część widma elektromagnetycznego. Światło widzialne jest tak ważne dla człowieka, że w sposób naturalny

zakładamy, iż jest równie ważne dla całej natury. W rzeczywistości to tylko jeden z wielu rodzajów promieniowania elektromagnetycznego, zajmujący bardzo małą część widma tego promieniowania – część obejmującą długości fal od 4000 do 8000 średnic atomowych.

422 Ciało człowieka (lecz nie jego oko) może, oprócz światła, wykryć także inne rodzaje promieniowania elektromagnetycznego. Gdy wyciągniemy rękę w kierunku czegoś ciepłego, to promieniowanie podczerwone przenosi energię od ogrzanego obiektu do ręki. Poczucie ciepła jest więc „detekcją” promieniowania podczerwonego leżącego poza zakresem widzialnym, czyli niewidzialnego dla oka. Kiedy w wyniku przebywania na słońcu skóra bolesnie się zaczerwieni, można powiedzieć, że ciało wykryło promieniowanie nadfioletowe, które spowodowało oparzenie.

423 Kiedy ładunki elektryczne są przyspieszane, powstaje promieniowanie elektroma-

gnetyczne. Elektrony przepływające przez przewod są źródłem fal radiowych i mikrofal, elektrony przeskakujące w atomie odpowiadają za powstawanie światła, a szybko poruszające się elektrony, gwałtownie zahamowane w kawałku metalu, generują promienie X. Całe promieniowanie elektromagnetyczne powstaje w wyniku ruchu zmiennego ładunków elektrycznych.

424 W antenie radiostacji elektrony są przyspieszane tam i z powrotem. Produkują fale radiowe. Fale te rozchodzą się w przestrzeni i trafiają do anteny naszego odbiornika, gdzie inne już elektrony są przyspieszane przez falę, która nadeszła z zewnątrz. Ruch tych elektronów tworzy prąd elektryczny, który jest wzmacniany w odpowiednim układzie naszego radia, a następnie przekształcany w dźwięk.

425 W atmosferze ziemskiej są tylko dwa „okna” dla promieniowania elektromagnetycznego. Światło widzialne z łatwością przechodzi przez atmosf-

re. Z samolotu można oglądać obiekty leżące setki kilometrów wokół. Również fale radiowe mogą szerzyć się w atmosferze na duże odległości. Zdarza się przecież podczas podróży samochodem „złapać” stację radiową odległą nieraz o tysiące kilometrów. Mówimy, że atmosfera ma okna dla fal radiowych i widzialnych. Wszystkie inne zakresy promieniowania są przez atmosferę całkowicie lub częściowo absorbowane. Astronomowie pragnący obserwować te właśnie fale, wysyłane przez odległe obiekty, muszą w tym celu wynieść swe przyrządy pomiarowe poza atmosferę. Obserwatoria satelitarne prowadzą intensywne badania dochodzącego do nas z przestrzeni promieniowania X, podczerwonego, nadfioletowego i mikrofalowego. Dopiero nasze pokolenie ma, po raz pierwszy w historii, możliwość obserwowania wszystkiego, co znajduje się na zewnątrz atmosfery. Jest to złoty wiek astronomii. Przez tysiące lat czło-

wiek obserwował gwiazdy. Zawsze wydawało mi się ironią losu, że to promieniowanie wędrowało na Ziemię od gwiazd odległych o miliony lat świetlnych tylko po to, by na ostatnich kilometrach ulec pochłonięciu przez atmosferę.

426 Jest wysoce prawdopodobne, że „naręczne” radio zostanie wynalezione jeszcze za życia większości ludzi czytających te słowa. Urządzenie to będzie przekształcało twój głos w słaby sygnał elektromagnetyczny. Sygnał ten będzie wychwytywany przez antenę satelity na orbicie i po odpowiednim wzmoocnieniu wysyłany z powrotem na dół do innego posiadacza takiego radia. Ten kierunek rozwoju ma już swojego prekursora w telefonie komórkowym. Trzeba jeszcze tylko zbudować detektor zdolny do odbioru bardzo słabych sygnałów. Zostaną wtedy urzeczywistnione pomysły z komiksów.

Magnetyzm

427 W naturze istnieje siła magnetyczna. Kiedy igła kompasu wskazuje północ lub gdy przyczepisz notatkę do lodówki za pomocą małego magnesyka, to masz do czynienia z jednym z podstawowych oddziaływań w naturze – oddziaływaniem magnetycznym. Siła ta znana była wszystkim starożytnym cywilizacjom, od Greków i Chińczyków począwszy.

428 Tym, co działa na otoczenie siłą magnetyczną (np. odchylając igłę magnetyczną), jest magnes. Najpopularniejszym materiałem mającym własności magnetyczne jest żelazo; ma je także wiele rud żelaza.

429 Magnesy czasem się przyciągają, a czasem odpychają. Każdy magnes ma dwa bieguny, północny i południowy. Bieguny jednoimiennie odpychają się, a różnoimiennie przyciągają. Gdy więc zbliży się do siebie bieguny północne (lub południowe) dwóch magnesów, to będą się

one odpychać. Zbliżanie bieguna północnego jednego magnesu do bieguna południowego drugiego magnesu spowoduje ich przyciąganie.

430 Igła kompasu jest magnesem. Wskazuje północ, co oznacza, że działa na nią siła magnetyczna. Jeden koniec igły jest przyciągany przez biegun północny Ziemi, a drugi koniec przez biegun południowy. W wyniku tego przyciągania, niezależnie od ustawienia początkowego igły, będzie się ona obracać dopóty, dopóki nie ustawi się w kierunku północ-południe. Jest to oczywiście powód, dla którego kompas znalazł szerokie zastosowanie w nawigacji.

Ponieważ koniec igły oznaczony „N” wskazuje biegun północny Ziemi, musi to być biegun południowy igły. W celu uniknięcia nieporozumień o biegunie igły oznaczonym „N” mówi się „biegun wskazujący północ”.

431 Ziemia jest magnesem. Fakt, że igła kompasu reaguje na siłę, z jaką działa na

nią Ziemia, świadczy o tym, że Ziemia jest zdolna do wywierania siły magnetycznej, a więc sama jest magnesem.

432 W przyrodzie nie istnieją pojedyncze bieguny magnetyczne. Zgodnie z tym, co dziś wiemy, z każdym istniejącym biegunem północnym związany jest biegun południowy. Jeżeli przełamię się na dwie części sztabkę magnesu, to nie będziemy mieć osobno bieguna północnego i osobno południowego, lecz dwa mniejsze magnesy, z których każdy będzie miał oba swoje bieguny – północny i południowy.

Tajemnica

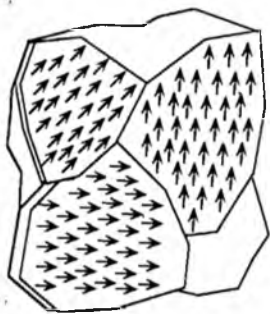
433 Gdzie są pojedyncze bieguny magnetyczne? Pojedynczy, izolowany biegun magnetyczny mógłby się nazywać monopolem magnetycznym. Fizycy włożyli mnóstwo wysiłku w poszukiwanie monopoli magnetycznych, lecz nie osiągnęli sukcesu. Jest to absorbująca zagadka, bo w naturze istnieje wiele osobnych ładunków elektrycznych (np. elektron i proton). Stwierdza się także całkowitą sy-

metrię między elektrycznością i magnetyzmem.

434 Wszystkie magnesy są elektromagnesami. Ponieważ w naturze nie istnieją monopole magnetyczne, wszystkie pola magnetyczne, jakie znamy, muszą powstawać wskutek ruchu ładunków elektrycznych. Na przykład elektron krążący po orbicie wokół jądra stanowi prąd elektryczny; prawda, że bardzo mały, ale jednak prąd. Ten właśnie przepływ prądu czyni z atomu mały magnes. Sądzimy, że w ten sam sposób ruch płynnego żelaza w jądrze Ziemi jest przyczyną istnienia ziemskiego pola magnetycznego, a ruch naładowanych cząstek we wnętrzu Słońca jest przyczyną istnienia pola magnetycznego Słońca.

435 W National Magnet Laboratory w Cambridge wytworzono największe pola magnetyczne, jakie są dziełem człowieka. Osiągają one natężenie ponad czterdzieści tysięcy razy większe niż pole magnetyczne Ziemi. Największe pole magnetyczne w całym Wszechświecie istnieje zapewne na powierzchni pulsarów i może być silniejsze od ziemskiego nawet wiele miliardów razy.

436 Naturalne magnesy, które zazwyczaj są z żelaza, nazywa się ferromagnetykami lub czasami magnesami trwałymi. Ferromagnetyk działa następująco. Każdy atom żelaza jest „magnesykiem” i ma skłonność do ustawienia, jakie przedstawione zostało na rysunku. Uporządkowanie to powstaje wskutek działania sił między sąsiednimi atomami.



Domeny ferromagnetyczne. Magnes trwały powstaje wtedy, kiedy te domeny wzajemnie się wzmacniają.

Sily powodujące równoległe uporządkowanie atomów tworzą tzw. domeny ferromagnetyczne. Domena jest to fragment materiału o rozmiarach około tysiąca atomów, w którym wszystkie magnesy atomowe wskazują ten sam kierunek. W normalnym kawałku żelaza domeny wskazują przypadkowe kierunki, więc na ze-

wnątrz tego kawałka nie ma pola magnetycznego, chociaż jest ono w każdej domenie z osobna.

Podczas magnesowania tego kawałka żelaza domeny są zmuszone do wskazywania tego samego kierunku. W ten sposób pola magnetyczne poszczególnych domen wzmacniają się wzajemnie i rośnie siła, z jaką może działać magnes. Im więcej domen zostanie ustawionych równoległe, tym większe będzie natężenie pola magnetycznego.

437 Istnienie domen ferromagnetycznych wyjaśnia, dlaczego magnes może zostać rozmagnesowany. Kawałek żelaza lub stopu będzie magnesem tylko tak długo, jak długo domeny są uporządkowane. Jeżeli magnes zostanie ogrzany, to domeny wrócą do swej dawnej przypadkowej orientacji. Wtedy stwierdza się, że żelazo się rozmagnesowało. Aby ponownie żelazo namagnesować, trzeba je umieścić w silnym polu magnetycznym, tzn. ponownie uporządkować domeny.

438 Istnieje tylko kilka naturalnych materiałów magnetycznych. Żelazo

jest oczywiście najpospolitsze, lecz do tej grupy należy także kobalt i nikiel. Większość silnych magnesów trwałych wykonuje się ze stopów żelaza z borem i neodymem.

Tylko te materiały dają się magnetyzować, inne nie. Powód jest następujący. Sily, które powodują równoległe ustawienie atomów, zależą od odległości między atomami. Odległości te są odpowiednie tylko w wyżej wymienionych pierwiastkach i kilku ich stopach, dlatego tylko w nich mogą powstać domeny.

439 Pewne materiały są paramagnetykami. Same nie wytwarzają pola magnetycznego, lecz stają się magnesami, kiedy w pobliżu jest inny magnes. Paramagnetyk działa następująco. W normalnych okolicznościach atomowe magnesy wskazują kierunki przypadkowe i nie wytwarzają pola magnetycznego. Jednakże w obecności zewnętrznego pola magnetycznego magnesy atomowe zostają uporządkowane i tak powstałym polem własnym wzmacniają pole zewnętrzne.

Przykładem paramagnetyku jest ciekły tlen i niektóre jony uranu.

440 Pole magnetyczne Ziemi jest wynikiem jej obrotów. Kiedy Ziemia obraca się, wraz z nią obraca się także jądro w jej wnętrzu. Proces prowadzący do tego, że wirujące jądro Ziemi, zbudowane z ciekłego żelaza, wytwarza pole magnetyczne, jest bardzo skomplikowany.

441 Pole magnetyczne Ziemi okresowo nleża odwróceniu. Obecnie północny biegun magnetyczny znajduje się w kanadyjskiej części Arktyki. W przeszłości zdarzało się jednak, że północny biegun był tam, gdzie teraz Antarktyda. Możemy udokumentować co najmniej trzysta takich odwróceń w ciągu ostatnich kilkuset milionów lat. Odwrócenia są bardzo nieregularne i całkowite przebiegunowanie trwa prawdopodobnie około 5000 lat. Sądzi się, że najpierw pole maleje do zera, a następnie zaczyna rosnać, lecz w przeciwnym kierunku. Taki przebieg zjawiska odwrócenia biegunów wydaje się bardziej prawdopodobny niż wędrówka biegunów po powierzchni Ziemi.

Tajemnica

442 Dlaczego ziemskie pole magnetyczne się odwraca? Obliczenie, w jaki sposób planeta może mieć stałe pole magnetyczne, nie jest zbyt skomplikowane, natomiast bardzo trudnym problemem jest zrozumienie, w jaki sposób to stałe pole co jakiś czas decyduje się zmienić kierunek. Kapryśna natura ziemskiego pola magnetycznego wciąż pozostaje dla geofizyków tajemnicą.

443 Skąły pamiętają, jaki był w przeszłości kierunek pola magnetycznego Ziemi. Kiedy roztopiona skała wypływa na powierzchnię Ziemi, pływają w niej małe kawałki materiałów o własnościach magnesu trwałego. Kawałki te ustawiają się wzdłuż takiego pola magnetycznego, jakie akurat istnieje. Kiedy skała stygnie, uporządkowanie to się utrwała. W ten sposób skała zachowuje pamięć, gdzie znajdowały się bieguny pola magnetycznego w czasie, gdy się formowała. Kiedy więc znajdujemy takie skamieniały magnes wskazujący południe, wiemy, że w czasie powstawania tej skały biegun północny był

tam, gdzie teraz południowy. Badanie dawnych pól magnetycznych nosi nazwę paleomagnetyki i dostarcza ważnych danych dotyczących tektoniki płyt.

444 Słońce ma także pole magnetyczne. Pochodzenie pola magnetycznego Słońca jest zapewne analogiczne do pochodzenia pola magnetycznego Ziemi. Słońce obraca się i jest zbudowane z materiału przewodzącego elektryczność – w tym przypadku jest to plazma składająca się z wolnych elektronów i atomów, z których te elektrony zostały uwolnione. Pole magnetyczne Słońca prawdopodobnie odwraca się co jednaście lat. Podobnie jak w przypadku Ziemi ciągle jeszcze nie znamy ani pochodzenia pola magnetycznego Słońca, ani powodów jego odwracania.

445 Plamy na Słońcu mają związek z jego polem magnetycznym. Widoczne na Słońcu ciemne plamy są prawdopodobnie konsekwencją burz magnetycznych i zjawisk magnetycznych pod powierzchnią Słońca. Cykl ich przybywania i ubywania wraz z polem magnetycznym wynosi jedenaste lat. Najliczniejsze są

na końcu, a najmniej liczne na początku cyklu.

446 Plamy na Słońcu wydają się ciemne, lecz również świecą, wysyłają tylko nieco mniej światła niż ich otoczenie. Tę różnicę intensywności promieniowania oko odbiera jako ciemną plamę.

Tajemnica

447 Dlaczego cykl występowania plam na Słońcu w przeszłości się zatrzymywał?

Cykl zwiększania się i zmniejszania liczby plam na Słońcu trwa teraz regularnie jedenaste lat, lecz w przeszłości objętej spisana historią było kilka takich okresów, w których cykl zmian się zatrzymywał. To jest dodatkowy aspekt tajemnicy pola magnetycznego Słońca.

448 Cykl zmian liczby plam na Słońcu zatrzymał się po raz ostatni między 1645 a 1715 rokiem; okres ten z grubsza pokrywa się z panowaniem Ludwika XIV (nazywanego Królem Słońce) we Francji.

Elektryczność

449 Ładunek elektryczny jest jedną z podstawowych własności materii. Podobnie jak czas, łatwo go wskazać, lecz trudno zdefiniować. Wiemy, że ładunek elektryczny musi być podstawową własnością materii, ponieważ jest zdolny do wywierania siły. Jeżeli przeczesze się grzebie-

niem włosy w suchy dzień, a następnie zbliży grzebień do skrawka papieru, to paperek podskoczy i przyłgnie do grzebień. Oznacza to, że grzebień jest zdolny działać z pewną siłą. Nazwano ją elektrycznością, a źródło siły elektrycznej – ładunkiem elektrycznym.

450 Istnieją dwa rodzaje ładunków elektrycznych. Ładunki jednoimiennie odpychają się, a różnoimiennie przyciągają. Grecy wiedzieli, że jeżeli bursztyn potrze się kocim futerkiem, a szkło – jedwabiem, to staną się one zdolne do oddziaływania z pewną siłą elektryczną. Wiedzieli też, że dwa kawałki bursztynu odpychają się, a szkło i bursztyn się przyciągają. Oznacza to, że nie tylko istnieją dwa rodzaje ładunków, lecz także dwa rodzaje sił: przyciągająca i odpychająca. Ta pierwsza występuje między ładunkami różnoimiennymi, druga – jednoimiennymi. Nazwy dla tych ładunków wybrano umownie: dodatni i ujemny.

451 Natura sił działających między ładunkami jest określona przez prawo Coulomba, nazwane tak od nazwiska francuskiego uczonego Charlesa Augustina de Coulomba (1736–1806). Prawo to wykazuje tajemnicze podobieństwo do prawa powszechnego ciężenia Newtona. Głosi, że jeżeli mamy dwa ładunki Q_1 i Q_2 w odległości R od siebie, to siła działająca między nimi wyraża się wzorem:

$$F = kQ_1Q_2/R^2$$

gdzie k jest stałą uniwersalną analogiczną do stałej grawitacji G , występującej w prawie powszechnego ciężenia Newtona.

452 Kiedy ciało uzyskuje ładunek elektryczny, przemieszczają się tylko elektrony. W materiale elektrycznie obojętnym jest tyle elektronów, ile wynosi dodatni ładunek jąder. Kiedy pociera się materiał, może zdarzyć się tylko jedno z dwojga: albo do materiału zostaną dodane elektrony i utworzy się w nim ich nadmiar – wtedy materiał będzie naładowany ujemnie, albo elektrony zostaną z materiału zabrane – wtedy będzie ich w materiale brakować, więc będzie on naładowany dodatnio.

453 Prąd elektryczny to poruszające się ładunki elektryczne, zwykle elektrony. Najczęściej używany jest taki rodzaj prądu, jaki dociera do gospodarstw domowych.

Kiedy różne przewodniki są ze sobą połączone tak, aby prąd mógł płynąć przez nie ustawicznie, to tworzą obwód elektryczny.

454 Każdy obwód elektryczny składa się z trzech części. Aby zmusić prąd elekt-

ryczny do pracy, niezbędne są trzy elementy.

1. Źródło energii, które zmusi ładunki elektryczne do poruszania się.

2. Nieprzerwana droga, po której ładunki będą mogły się poruszać, czyli obwód.

3. Odbiornik energii, w którym energia ta zostanie zużyta, czyli obciążenie.

Kiedy na przykład włączamy światło, to źródłem energii jest elektrownia, obwodem zamkniętym – miedziane przewody w kablu elektrycznym, a odbiornikiem – sama żarówka.

455 Jednostką natężenia prądu elektrycznego jest amper (A). Jednostka otrzymała swoją nazwę od nazwiska André Marie Ampère'a (1775–1836), uczonego francuskiego, jednego z pionierów badań nad zjawiskami elektrycznymi. Aby zrozumieć istotę pomiaru natężenia prądu, wyobraźmy sobie na przykład małego inżyniera ruchu ulicznego siedzącego w drucie i liczącego elektrony, które go mijają. Jeden amper odpowiada przepływowi 6×10^{18} elektronów w ciągu sekundy. Poniżej przedstawiono listę pospolitych urządzeń domowych oraz podano na-

teżenie przepływającego przez nie prądu:

żarówka 100 W	0,5 A
telewizor	1,5 A
toster	5 A
akumulator samochodowy (kiedy działa rozrusznik)	50 A

I człowiek, i natura mogą produkować prądy zarówno o znacznie większym, jak i o znacznie mniejszym natężeniu.

456 Napięcie jest miarą siły, z jaką ładunki elektryczne są „przepychane” przez materiał. Jednostką napięcia jest volt (V), nazwany tak od Alessandro Volty (1745–1827), uczonego włoskiego, który zbudował pierwsze ogniwo elektryczne. Poniżej podano kilka powszechnie stosowanych napięć:

latarka kieszonkowa	1,5 V
akumulator samochodowy	12 V
zwykle urządzenia domowe	220 V

457 Prąd elektryczny wytwarza ciepło. Kiedy ładunki elektryczne płyną przez materiał, zderzają się z atomami, z których jest on zbudowany. W tych zderzeniach elektrony oddają część swojej energii atomom, które zaczynają drgać trochę szybciej niż poprzednio. Ten wzrost

energii wewnętrznej materiału jest rozpraszany do atmosfery w postaci ciepła.

Z wyjątkiem nadprzewodników wszystkie materiały, które przewodzą prąd elektryczny, zabierają od prądu trochę energii i zamieniają ją w ciepło. Można poczuć to ciepło, dotykając wtyczki żelazka lub odkurzacza używanego przez pewien czas.

Zjawisko, dzięki któremu materiał przemienia część energii elektrycznej w ciepło, nazywamy oporem elektrycznym przewodnika. Im większa energia jest przekazywana atomom, tym większy opór przewodnika.

Pytanie

Czy drut spirali w twoim tosterze ma duży opór, czy mały? Odpowiedź: Musi to być duży opór, ponieważ spirala świeci, kiedy płynie przez nią prąd.

458 Przepływ elektronów w obwodzie jest podobny do przepływu wody przez rurociąg. Można wskazać liczne analogie między przepływem prądu a przepływem wody przez rurociąg

z miejskiej wieży ciśnień do twego mieszkania.

1. Wysokość wieży ciśnień, która decyduje o tym, z jaką „siłą” woda jest zmuszana do przepływu, odpowiada napięciu. Im wyższa wieża, tym wyższe ciśnienie wody. Podobnie z prądem: im wyższe napięcie w obwodzie, tym większy będzie płynął prąd.

2. Wielkością odpowiadającą natężeniu prądu elektrycznego jest przepływ wody. Im więcej wody mija jakiś punkt w ciągu sekundy, tym większe natężenie „prądu” wody.

3. Wielkością nieco podobną do oporu elektrycznego jest średnica rury. Im węższa rura, tym trudniej przepchnąć przez nią duży przepływ i tym więcej energii traci się na turbulencje (zawrowania) i ogrzewanie się wody. W podobny sposób przewód o dużym oporze będzie hamował przepływ prądu i większa ilość energii zostanie zamieniona w ciepło.

459 Moc zużywana przez wszelkie domowe urządzenia jest mierzona w watach i zwykle podawana na małej metalowej tabliczce przymocowanej

do urządzenia. Moc kilku urządzeń domowych jest następująca:

aparatura stereo	200 W
toster	1 kW
telewizor	300 W

460 Koszt korzystania z urządzenia elektrycznego zależy od całkowitego zużycia energii. Mierzony jest (i płacony) w kilowatogodzinach. Na przykład telewizor włączony przez 6 godzin zużywa $6 \text{ godzin} \times 300 \text{ W} = 1800$ watogodzin, czyli 1,8 kilowatogodziny energii.

461 W powszechnym użytku są dwa rodzaje prądu elektrycznego. Prąd produkowany na wielką skalę w elektrowniach wytwarzają generatory. Jest to prąd, w którym elektrony w przewodzie płyną raz w jedną, raz w drugą stronę. Z oczywistych powodów nazwano go prądem zmiennym (AC). Prąd z akumulatora lub baterijki płynie tylko w jednym kierunku. Nazywa się go prądem stałym (DC).

462 W domu używa się prądu zmiennego. Nie znaczy to, że wszystkie elektrony przebywają pięćdziesiąt ra-

zy na sekundę drogę tam i z powrotem od elektrowni do żarówki. W rzeczywistości, wskutek zderzeń, którym ulegają elektrony w przewodniku (patrz wyżej), ich właściwy ruch w przewodzie jest powolny i wynosi mniej niż 1 cm na sekundę. Zjawisko to ma następujący przebieg. Wszystkie elektrony poruszają się jednocześnie w jedną, a potem w przeciwną stronę, nie odalając się zbyt od swego położenia początkowego.

463 Urządzenia elektryczne są uziemione. Każdy, kto spędził trochę czasu w pobliżu urządzeń elektrycznych – a więc większość z nas – musi być świadom, że niechcący może się stać częścią obwodu elektrycznego. Zwykle jest to obwód, w którym prąd płynie od urządzenia, przez ciało ludzkie, do ziemi. Aby temu zapobiec, urządzenia elektryczne są uziemione, tzn. zbudowane tak, że jeżeli na zewnętrznej części urządzenia pojawi się napięcie, to przez specjalny przewód niezwłocznie prze-

płyń prąd o dużym natężeniu. Przepływ tego prądu spowoduje rozwarcie włączników lub przepalenie bezpieczników, co spowoduje odłączenie urządzenia od zasilania i zapobiegnie porażeniu użytkownika. Jeżeli po ponownym włączeniu urządzenia znów nastąpi przepalenie bezpieczników, oznacza to, że jest ono uszkodzone. Nie należy sprawy bagatelizować, tylko przed ponownym włączeniem sprawdzić dokładnie obwód.

464 Ogniwo magazynuje energię chemiczną, a następnie przekształca ją w prąd elektryczny. Ogniwo składa się z dwóch różnych metali (najczęściej) stanowiących elektrody, zanurzonych w substancji (stałej lub ciekłej) nazywanej elektrolitem. Na przykład w akumulatorze samochodowym elektrodami są ołów i tlenek ołowiu, a elektrolitem jest rozcieńczony roztwór kwasu siarkowego. W trakcie

rozładowywania akumulatora reakcje chemiczne przekształcają zarówno ołów, jak i tlenek ołowiu w siarczan ołowiu, a elektrolit w wodę. Akumulator całkowicie rozładowany składa się zatem z zanurzonych w wodzie elektrod pokrytych siarczanem ołowiu. Nie ma w nim już wcale energii chemicznej. Jeden z etapów zachodzących w ogniwie reakcji chemicznych wymaga, aby elektrony zostały przeniesione z jednej elektrody na drugą. Mogą one przepłynąć przez dołączony do ogniwa obwód zewnętrzny. Ten właśnie przepływ elektronów postrzegamy jako prąd elektryczny. Reakcja chemiczna zachodząca w ogniwie, które można ponownie wielokrotnie naładować, jest odwracalna. Proces ładowania ogniwa polega na przepuszczeniu przez nie prądu w przeciwnym kierunku. Takie ogniwo kończy swoje życie dopiero wtedy, kiedy na elektrodach wytworzy się tyle zanieczyszczeń, że reakcje chemiczne nie mogą już dłużej zachodzić.

Czas

465 Uczni nie potrafią spre-cyzować, czym jest czas, potrafią jedynie go zmierzyć. Kiedy rozważa się problem czasu, nasuwają się dwa ważne pytania: pierwsze – co to jest czas, drugie – jak go zmierzyć. Odpowiedź na pierwsze pytanie trzeba zostawić filozofom, mistykom i tym, którzy lubią nierozwiązywalne problemy. Fizycy interesują się jedynie pomiarem czasu.

Święty Augustyn w *Wyznaniach* powiedział: „Czymże więc jest czas? Jeśli nikt mnie o to nie pyta, wiem. Jeśli pytającemu usiłuję wytłumaczyć, nie wiem” (Święty Augustyn, *Wyznania*, Warszawa 1987, przekład: Zygmunt Kubiak – przyp. tłum.). Jest to prawdopodobnie najlepsza z wielu różnych definicji czasu.

466 Do mierzenia czasu konieczne są zjawiska regularnie występujące w przyrodzie. Standardową techniką jest znalezienie zjawiska, które powtarza się regularnie, a następnie zdefiniowanie jednostki w terminach pojawiania się i znikania tego zjawiska. Na przykład jednostką

czasu jest doba – czas między kolejnymi wschodami słońca. Wszystkie systemy pomiaru czasu są ostatecznie oparte na powtarzalnych zjawiskach, które wybrano do zdefiniowania podstawowego wzorca czasu. Przez prawie całe dzieje ludzkości wpływ czasu mierzono za pomocą dób, co jest związane z czasem, jakiego potrzebuje Ziemia na jeden obrót dookoła swej osi, oraz lat, tzn. czasu jednego obiegu Ziemi dookoła Słońca.

467 Egipcjanie zdefiniowali 1 godzinę jako dwumastą część czasu między wschodem a zachodem słońca. Oznacza to, że dla Egipcjan długość godziny zmieniała się z dnia na dzień, a także była inna w ciągu dnia niż w nocy.

468 Pierwszą próbą mierzenia czasu było utworzenie kalendarza. Kiedy ludzie zajęli się rolnictwem, pojawiła się konieczność zapisywania ważnych dla nich wydarzeń, takich jak na

przykład terminy zasiewów poszczególnych upraw. Innymi słowy, potrzebny był im kalendarz. W rzeczywistości jest on zegarem, który „tyka” raz do roku, a więc wskazuje, w jakim miejscu znajduje się Ziemia na swej drodze dookoła Słońca. Od tego właśnie miejsca zależą pory roku. Głównym problemem, z jakim zetknięto się w czasie opracowywania kalendarza, jest to, że liczba dni w roku nie stanowi liczby całkowitej. Kolejne kalendarze w historii stawały się coraz bardziej zbliżone do rzeczywistej długości roku.

469 Kalendarz egipski. W kalendarzu tym rok miał 12 miesięcy po 30 dni, a kończył się pięcioma dniami świąt. Kłopot polegał na tym, że rok ma 365 i 1/4 dnia, a nie 365. Oznacza to, że błąd wynosił 1/4 dnia rocznie. Co rok błąd ten się zwiększał i gdyby nie ingerencje, to po pewnym czasie egipski ekwiwalent śniegu padalby w sierpniu.

470 Współczesne uroczystości noworoczne mogą być echem egipskich świąt Końca Roku. Był to czas, który tak naprawdę nie należał do

roku. Nic nie miało znaczenia. Czas stanął. Może obecnie mamy lepszy kalendarz, ale wydaje się, że zdołaliśmy zachować prawdziwie ważną część starego.

471 Kalendarz juliański. Wprowadzony został przez Juliusza Cezara, który próbował trochę uporządkować liczenie czasu w Imperium Rzymskim. Kalendarz ten rozwiązuje problem dodatkowej ćwiartki dnia przez wprowadzenie roku przestępnego. Co cztery lata rok jest o jeden dzień dłuższy. Likwidowało to znaczną część błędu kalendarza egipskiego, nie usuwało go jednak całkowicie, ponieważ rok jest o 11 minut i 14 sekund krótszy niż 365 i 1/4 dnia. Błąd ten kumulował się, dając 7 dni różnicy na każde 1000 lat, dopóki nie pojawiły się kłopoty z ustaleniem terminu świąt wielkanocnych. To prowadziło do... kalendarza gregoriańskiego.

472 Kalendarz gregoriański, ustanowiony w 1582 r. przez papieża Grzegorza XIII, rozwiązuje problem w sposób następujący. Kasuje lata przestępne wypadające na koniec wieku,

z wyjątkiem tych podzielnych przez cztery. Rok 2000 pozostanie więc rokiem przestępnym, ale lata 1700, 1800, 1900 nie były przestępne. Kalendarz gregoriański jest używany do dziś.

473 Rosja przyjęła kalendarz gregoriański dopiero po rewolucji. Tak więc przez kilka wieków posługiwano się w Europie dwoma kalendarzami: gregoriańskim na całym niemal Zachodzie i juliańskim na Wschodzie. Wyjaśnia to, dlaczego w historii Rosji często spotyka się podwójne daty: jedną w nowym porządku – gregoriańskim, drugą w starym – juliańskim.

474 Rok 46 p.n.e. był najdłuższym rokiem w pisanej historii, a 1582 najkrótszym. Juliusz Cezar, wprowadzając swój kalendarz w roku 46 p.n.e., dodał 2 miesiące i 29 dni (do lutego), aby usunąć różnicę, jaka powstała w kalendarzu egipskim. Rok 46 p.n.e. miał zatem 455 dni i był najdłuższy w historii. Gdy zaś Grzegorz XIII ustanowił swój

kalendarz w 1582 r., zarządził, że dzień 5 października ma być 15 października, dlatego rok ten był najkrótszy w historii.

475 Obrót Ziemi dookoła osi jest obecnie uważany za niezbyt dobry wzorzec czasu. Jeśli przyjrzeć się bliżej tej rotacji, okazuje się, że jest dość niestabilna. Przyciąganie grawitacyjne Księżyca i planet, pływy, trzęsienia ziemi, a nawet wiatry przyczyniają się do nierównomiernego zwiększania lub zmniejszania prędkości obrotów Ziemi. Zmiany te nie są zbyt duże, rzędu milisekund w ciągu doby, lecz jeżeli sekundę definiuje się jako część doby, jak to zwykle czyniono, to sekunda będzie z roku na rok miała różną długość.

476 Sekunda jest obecnie zdefiniowana w terminach ruchu elektronu w atomie cezu. Ten tzw. zegar atomowy może mierzyć długość sekundy z dokładnością do trzynastego miejsca po przecinku.

477 Obecnie reguluje się dokładność naszego kalendarza, dodając co jakiś czas 1 sekundę do roku. Wszędzie na świe-

cie, w różnych laboratoriach narodowych, działa mnóstwo zegarów. Kiedy większość z nich potwierdza, że Ziemia wyszła z właściwego tempa obrotów o pół sekundy, to wybranego dnia o północy dodaje się jedną sekundę. Zdarza się to co kilka lat, ostatnio 31 grudnia 1990 r.

478 Najdokładniejszym zegarem jest maser wodorowy. Chociaż zegar atomowy oparty na czie jest obecnie najlepszym wzorcem czasu, inny ruch regularny – ruch elektronu w cząsteczce wodoru – może się stać zegarem jeszcze dokładniejszym. Zegar czosowy jest dokładny do trzynastego miejsca po przecinku, a wodorowy do piętnastego. Niestety, maser wodorowy jest stabilny tylko w czasie krótszym niż jedna sekunda, więc nie może być używany jako długoterminowy wzorzec czasu.

479 Najdłuższym czasem, jaki próbowano kiedykolwiek zmierzyć, jest czas życia protonu – więcej niż 10^{33} lat. Najdłuższym czasem zmierzonym jest czas życia Wszechświata – około 16 miliardów lat.

Najkrótszym czasem zmierzonym pośrednio jest rozpad pewnych cząstek elementarnych – 10^{-24} sekundy.

Najkrótszym czasem zmierzonym bezpośrednio jest czas trwania impulsu światła w specjalnym laserze – 10^{-15} sekundy.

480 Nanosekunda jest odpowiednią jednostką czasu dla współczesnych szybkich systemów elektronicznych. W czasie jednej nanosekundy (czyli miliardowej części sekundy) światło przebywa drogę prawie 30 cm, a żaden sygnał w obwodzie elektrycznym nie może poruszać się szybciej. Oznacza to, że żaden komputer o rozmiarach większych niż 1 m nie będzie zdolny do przesłania sygnału od jednego do drugiego swego krańca w czasie krótszym niż nanosekunda. Uważa się, że jest to zasadnicze ograniczenie maksymalnej prędkości komputerów.

481 Na wzbudzenie neuronu w układzie nerwowym potrzeba 1 milisekundy, podczas gdy najszybsze przełączenie we współczesnym komputerze może

trwać 1 pikosekundę. Fakt, że mózg może wykonać wiele zadań (takich jak przetworzenie informacji wizualnych) szybciej niż najszybszy nawet komputer, jest związany raczej z wyższością projektu obwodów niż z szybkością działania poszczególnych jego składników.

Nazwy krótkich czasów są następujące:

milisekunda	10^{-3} s (0,001 s)
mikrosekunda	10^{-6} s (0,000 001 s)
nanosekunda	10^{-9} s (0,000 000 001 s)
pikosekunda	10^{-12} s (0,000 000 000 001 s)
femtosekunda	10^{-15} s (0,000 000 000 000 001 s)

Grawitacja

482 Twórcą pierwszej nowoczesnej teorii grawitacji był Isaac Newton. Nazwał ją prawem powszechnego ciężenia. Prawo to głosi, że każdy obiekt we Wszechświecie działa siłą przyciągania na każdy inny obiekt we Wszechświecie. Siła ta zależy od masy tych obiektów i odległości między nimi. Im większa masa mają obiekty, tym większa siła działa między nimi. Im większa odległość, tym siła mniejsza. Poniżej podane jest to prawo w postaci równania:

$$F = GM_1M_2/D^2$$

gdzie: F – przyciągająca siła grawitacji, M_1 i M_2 – masy oddziału-

jących obiektów, D – odległość między nimi, i współczynnik G – stała grawitacji.

Tajemnica

483 Czy Newton naprawdę zobaczył jabłko? Odkrycie prawa powszechnego ciężenia należy do legendy, wraz z drzewkiem wiśni George'a Washingtona i latawcem Benjamina Franklina. Według Newtona zdarzenie miało następujący przebieg. Któregoś dnia, spacerując w sadzie, zobaczył jabłko spadające z drzewa. Jednocześnie dostrzegł na niebie Księżyc. Pomyślał wtedy, że gdyby siły przyciągające jabłko

rozciągały się dalej, aż do Księżyca, wyjaśniałoby to, dlaczego pozostaje on wciąż na swojej orbicie. Historycy nie są zgodni co do tego, czy Newton naprawdę zobaczył to jabłko, czy też historyjka ta została wymyślona później w celu ugruntowania jego pierwszeństwa w wyjaśnieniu orbity Księżyca.

484 Teoria grawitacji Newtona była pierwszą zuniifikowaną teorią pola. Przed Newtonem przypuszczano, że siła powodująca spadanie ciał na Ziemię to zupełnie inna niż ta, która powoduje ruch Słońca, gwiazd i planet. Newton wykazując, że istnieje tylko jedna siła grawitacji, zuniifikował te dwie pozornie odmienne siły.

485 Gdy jabłko spada na Ziemię, wówczas łatwo przeoczyć fakt, że ona także jest przyciągana przez jabłko. Prawo grawitacji Newtona pozwala wyliczyć, o ile przemieści się Ziemia podczas spadania jabłka. Okazuje się wtedy, że Ziemia ruszy na spotkanie jabłka, przemieszczając się o odległość mniejszą niż pojedyncze jądro atomu. Nie

trzeba dodawać, iż nie istnieje sposób zmierzenia takiego ruchu naszej planety.

486 Zgodnie z prawem Newtona wszystko działa siłą na wszystko inne. Podczas gdy to czytasz, Ziemia przyciąga cię do siebie i dlatego nie wyfruwasz ze swojego fotela. Z prawa Newtona wynika, że w każdej chwili przyciąga cię każdy obiekt we Wszechświecie. Oprócz Ziemi także budynek, w którym się znajdujesz, drzewa za oknem i odległe gwiazdy – wszystko to działa na ciebie z pewną siłą, a także ty sam wywierasz siłę na cały Wszechświat. Oczywiście w celach praktycznych wszystkie te siły można pominąć – z wyjątkiem przyciągania ziemskiego, ponieważ jest ono o wiele silniejsze od innych. Zdarza się jednak, że fizycy dokonujący precyzyjnych pomiarów muszą uwzględnić siły grawitacyjne pochodzące od działania na ich przyrządy stali i betonu budynków, w których mieszczą się laboratoria.

487 Astrologia nie ma żadnych podstaw naukowych. Astrologowie czasem posługują się uniwersalnym charakterem grawitacji jako argumentem potwierdzającym możliwość „przynajmniej w zasadzie” wpływu gwiazd i planet na rodzące się dziecko. Trzeba jednak pamiętać, że wszystko działa siłą grawitacyjną na to dziecko, nie wyłączając lekarza i pielęgniarki w sali porodowej. Jeżeli policzy się wszystkie te siły, okaże się, że siła grawitacyjna, z jaką działa lekarz, jest większa niż siła najbliższej gwiazdy *Proxima Centauri*.

488 Pływy oceaniczne są spowodowane działaniem sił grawitacji, lecz wyjaśnienie ich powstawania jest raczej skomplikowane. Nie wystarczy powiedzieć, że Księżyc przyciąga wody oceanu. Jako dowód niech służy fakt, że obserwuje się dwa pływy dziennie, a nie jeden, jak można byłoby się spodziewać. W dodatku przyptyw następuje zwykle, gdy Księżyc jest na horyzoncie, a nie wprost nad głową, czego można by oczekiwać po wodzie podnoszącej się ku Księżycowi.

489 Oprócz pływów oceanicznych występują także pływy lądów. Pływy oceanów są najdobitniejszym dowodem działania grawitacji, lecz istnieją również pływy lądów. Kiedy Księżyc przemieszcza się nad stałym lądem, jego poziom podnosi się o kilka centymetrów, a później znów opada. Ponieważ ten ruch lądu odbywa się w rytmie dwunastogodzinnym, zwykle nie jest zauważany. Każdy obiekt we Wszechświecie (jeżeli jest ciałem stałym), od Ziemi do księżyców Saturna i jeszcze dalej, ulega pływom lądowym, jeżeli jest położony blisko dużego obiektu, lecz pływy oceaniczne występują tylko na Ziemi.

490 W pływach ziemskich oceanów swój udział ma także Słońce. Pływy spowodowane przez Słońce są dwukrotnie mniejsze niż pochodzące od Księżyca. Oba te udziały się nakładają, a efekt sumaryczny zależy od tego, jak są ustawione względem siebie Ziemia, Słońce i Księżyc, a więc zmienia się w ciągu miesiąca. Podczas nowiu i pełni, kiedy pływy słoneczne i księżycowe wzmacniają się wzajemnie, obserwuje się tzw. pływy syzygijne.

W innych kwadrach pływ są mniejsze. Są to tzw. pływy kwadraturowe.

491 Pływy są przyczyną ustania Księżyca w kierunku Ziemi zawsze tą samą stroną. Prawo powszechnego ciężenia głosi, że Ziemia musi powodować pływy lądowe na Księżycu. Kiedy się policzy, jak te pływy oddziałują na Księżyc, okazuje się, że po kilkuset tysiącach lat satelita w ich wyniku ustawia się jedną stroną w kierunku swego większego partnera. Wszystkie duże księżycy w Układzie Słonecznym tak właśnie są ustawione.

492 Najlepszą współczesną teorią grawitacji jest ogólna teoria względności. Głosi ona, że obecność materii stanowiącej tworzywo Wszechświata zakrzywia czasoprzestrzeń. Łatwym sposobem zrozumienia, na czym polega teoria względności, jest wyobrażenie sobie, że napinamy ciasno folię plastikową na otworze większego pojemnika na śmieci, a następnie kładziemy na niej łożysko kulkowe tak, żeby powstało wgłębienie. Jeżeli teraz wtoczmy na plastik małą kulkę, to odchyli się ona od swego kursu. Gdybyśmy nie wiedzieli o za-

krzywieniu plastyku, powiedzielibyśmy, że łożysko wywarło siłę na kulkę.

Według teorii grawitacji Newtona jeden obiekt działa z pewną siłą na drugi. Ogólna teoria względności głosi, że obiekt zakrzywia czasoprzestrzeń i to jest powodem zmiany ruchu innych obiektów.

493 Teoria Einsteina nie obala teorii Newtona. Po dokładnym przyjrzeniu się równaniom ogólnej teorii względności i ekstrapolowaniu ich do takiego zakresu, w którym mamy do czynienia z małymi masami, okazuje się, że stają się one równaniami wynikającymi z teorii Newtona. Innymi słowy, ogólna teoria względności, chociaż obejmuje o wiele więcej zjawisk, zawiera w sobie teorię Newtona, nie zaprzecza więc jej użyteczności dla tego zakresu zjawisk, dla którego do tej pory była stosowana.

494 We Wszechświecie nie wiele jest takich miejsc, w których decydujące znaczenie ma ogólna teoria względności. Nie warto się więc nią przejmować ani w życiu codziennym, ani w trakcie wysyłania sond kosmicznych do Układu Słonecznego,

ani też w żadnej innej sytuacji, z jaką możesz się zetknąć. Ogólna teoria względności daje w tych sytuacjach tak małe odstępstwa od starej teorii Newtona, że można je całkowicie pominąć. Ogólną teorię względności trzeba brać pod uwagę jedynie w przypadkach, kiedy obiekty stają się bardzo masywne, na przykład w pobliżu „czarnych dziur”, oraz gdy w grę wchodzi bardzo duże odległości (np. w kosmologii) lub w czasie wykonywania precyzyjnych pomiarów. We wszystkich pozostałych przypadkach możesz zapomnieć, że prawo Newtona jest tylko szczególnym przypadkiem teorii lepszej.

495 Ogólna teoria względności przewiduje, że światło ugina się, przechodząc w pobliżu Słońca. W 1919 r. Arthur Eddington, później Sir Arthur, dokonał obserwacji, którą uznano za najbardziej przekonujące potwierdzenie teorii względności. Obserwując zaćmienie Słońca u wybrzeży Afryki, zauważył, że widoczna podczas zaćmienia pozycja gwiazd blisko brzegu tarczy słonecznej wydaje się przesunięta. Przesunięcie to mogło nastąpić tylko w przypadku, gdy światło gwiazdy zakrzywiło swój tor,

przechodząc koło Słońca. Występowanie tego zjawiska wynika zarówno z teorii Newtona, jak i ogólnej teorii względności, lecz każda z nich przewiduje inne wartości kąta odchylenia. Kiedy Eddington zweryfikował przewidywania Einsteina, wywołało to sensację w prasie i otworzyło temu ostatniemu drogę na szczyty popularności.

Obecnie do pomiarów ugięcia, chętniej niż światła, używa się fal radiowych z odległych kwazarów. Potwierdzają one ogólną teorię względności z dokładnością do około 1 procenta.

496 Dwa inne doświadczenia stanowią potwierdzenie wniosków wynikających z ogólnej teorii względności. Jedno z nich wiąże się z bardzo małymi zmianami orbity Merkurego, tzn. z ruchem peryhelium. Obserwując eliptyczną orbitę planety w ciągu długiego okresu, można zauważyć, że oś elipsy wolno się obraca. Innymi słowy, punkt, w którym planeta znajduje się najbliżej Słońca (czyli peryhelium), zmienia swoje położenie. Ruch ten nie jest duży, mniej niż jeden stopień kątowy w ciągu wieku. Znaczną część ruchu peryhelium można przypisać oddziaływaniu grawi-

tacyjnemu innych planet, zwłaszcza Jowisza. Jednakże mała część tego ruchu – około 42 sekund kątowych na 100 lat – pozostawała nie wyjaśniona, dopóki Einstein nie wyjaśnił jej na gruncie ogólnej teorii względności.

Począwszy od lat sześćdziesiątych, astronomowie prowadzili bardzo dokładne obserwacje radarowe orbit wszystkich planet wewnętrznych od Merkurego do Marsa. Wyniki pomiarów ruchu peryheliów tych planet są obecnie najlepszym doświadczalnym potwierdzeniem ogólnej teorii względności.

Następne potwierdzenie dotychczasowego zjawiska. Kiedy światło biegnie w górę, oddalając się od powierzchni Ziemi, działa na nie siła grawitacji i powoduje zwiększenie długości jego fali. Zjawisko to doczekało się potwierdzenia w późnych latach pięćdziesiątych.

497 Ogólna teoria względności została zaakceptowana przez świat nauki pomimo bardzo skąpej podstawy doświadczalnej. Stanowiły ją tylko trzy doświadczenia. Podejrzewam, że piękno tej teorii sprawiło, iż uczeni chcieli w nią uwierzyć. Mimo to wielu uczonych nadal pracuje

nad projektami nowych doświadczeń. Istotne będzie użycie nowoczesnej, precyzyjnej aparatury.

498 W najbliższej przyszłości można się spodziewać dalszych prób sprawdzania ogólnej teorii względności. Mniej więcej w połowie lat dziewięćdziesiątych zostanie wysłany na orbitę satelita z małą kulką na pokładzie. Ogólna teoria względności przewiduje, że obrót Ziemi spowoduje małe zmiany obrotów tej kulki. Mierząc obroty kulki z nie spotykaną dotąd precyzją, uczeni dążą do nowego potwierdzenia do poprzednich.

W innych próbach, przeprowadzanych na Ziemi przy użyciu bardzo szybkich urządzeń elektronicznych, uczeni mierzą czas przebiegu światła wysłanego na wschód i na zachód. Teoria względności przewiduje, że między jednym a drugim czasem wystąpi mała różnica spowodowana obrotem Ziemi. Wyników tych pomiarów spodziewamy się w najbliższej przyszłości. Można oczekiwać, że w następnym dziesięcioleciu rozwój techniki instrumentalnej umożliwi zmierzenie jeszcze wielu nieznaczących różnic przewidywanych przez ogólną teorię względności. Tym samym

nasza wiara w tę teorię będzie miała solidną podstawę doświadczalną.

499 Wirująca kulka kwarcowa, która zostanie użyta do sprawdzenia ogólnej teorii względności, jest najbardziej okrągłym przedmiotem na świecie. Ma ona tylko kilka centymetrów średnicy. Gdyby jednak została powiększona do rozmiarów Ziemi, to najwyższe „góry” na niej miałyby najwyższą 30 cm wysokości.

500 Ogólna teoria względności nie może być ostateczną formą teorii grawitacji. Powód jest prosty: nie ma w tej teorii miejsca na zjawiska kwantowe. Oznacza to, że rozważając działania grawitacyjne w bardzo małej skali, na przykład w odległościach znacznie mniejszych niż rozmiary protonu, teoria ta załamuje się i musi być zastąpiona inną. Niewykluczone, że ta nowa teoria będzie zawierała w sobie ogólną teorię względności jako przypadek szczególny, tak jak ona sama zawiera teorię Newtona. Próba pogodzenia ze sobą dwóch wielkich teorii XX w.

– mechaniki kwantowej i ogólnej teorii względności, zajmuje się wiele największych umysłów naszych czasów. Pragnąłbym przekazać czytelnikom wiadomość o wielkim postępie w tej dziedzinie, lecz wydaje mi się, że problem ten pozostanie do rozwiązania dla następnych pokoleń.

501 Jednym z najlepszych specjalistów „kwantowo-grawitacyjnych” jest Stephen Hawking. Jego książka *Krótką historia czasu* stała się bestsellerem w 1989 r., a walka z chorobą ALS (choroba Lou Gehriga) czyni go wśród nas kimś absolutnie wyjątkowym. Hawking nie szukał jak inni uczeni teorii ogólniejszej, z której połączenie mechaniki kwantowej i ogólnej teorii względności wyniknie w naturalny sposób, lecz połączył obie istniejące teorie. Z pracy Hawkinga, jako jedna z konsekwencji, wynika przewidywanie, że czarne dziury, które są absolutnie stabilne w ogólnej teorii względności, będą przekształcać swoją masę w promieniowanie (tzw. promieniowanie Hawkinga). Czarne dziury po dłuższym czasie będą więc znikać. Jego pomysłem są także „Wszechświaty niemowlęce” (patrz niżej).

502 Mechanika kwantowa i grawitacja spotykają się w najbardziej dramatyczny sposób w toku badań wczesnych stadiów powstawania kosmosu. Na przykład zjawisko rozszerzania się Wszechświata jest wynikiem zarówno oddziaływań cząstek elementarnych, jak i zakrzywienia czasoprzestrzeni przez materię, tzn. jest ono hybrydą mechaniki kwantowej i ogólnej teorii względności. „Wszechświaty niemowlęce” Stephena Hawkinga i „Wszechświat w twoim domowym warsztacie” Alana Gutha to dwie teorie oparte na połączeniu mechaniki kwantowej i grawitacji. W obu tych teoriach czasoprzestrzenna struktura Wszechświata jest podobna do dużego balonu, w którym występują zderzenia i nieregularności spowo-

dowane przez oddziaływania kwantowe. Według niektórych teorii zdarza się od czasu do czasu, że te nieregularności rosną jak tętniak. Jeżeli tak się stanie, to tętniak ten może utworzyć swój własny mały Wszechświat, który będzie przemieszczał się równoległe do naszego (stąd jego nazwa „Wszechświat niemowlęcy”). Hawking twierdzi, że takie Wszechświaty rodzą się cały czas. Natomiast Guth zadaje pytanie, czy będzie kiedykolwiek możliwe, nawet tylko z zasady, żeby człowiek stworzył Wszechświat, produkując tętniaki i manipulując nimi? Nazwał to „tworzeniem Wszechświata w warsztacie domowym”. Jego odpowiedź na to pytanie jest następująca: „Prawdopodobnie tak, lecz nieprędko”.

Mechanika klasyczna

503 Isaac Newton (1642–1727) może słusznie być nazwany ojcem nowoczesnej nauki. Jego prace wymiotły resztki Średniowiecza i od nich zaczyna się rozwój prawdziwej nauki.

Główna cecha Newtonowskiej wizji Wszechświata może być najlepiej zrozumiana przez wyobrażenie sobie mechanicznego zegara, który działa zgodnie z dobrze znanymi prawami. Newton

przewidział, że Układ Słoneczny i reszta kosmosu porusza się zgodnie z prawami, które człowiek może odkryć i zrozumieć. Podobnie jak zegar, który chodzi, kiedy jest nakręcony i puszczonego w ruch, tak i Newtonowski Wszechświat, puszczonego w ruch przez Boga, porusza się nadal według praw boskich, ale bez Jego doraźnych interwencji.

504 Najbardziej twórczym okresem życia Newtona był jeden rok (przełom 1665 i 1666). Dżuma, która panowała wówczas w Anglii, była przyczyną zamknięcia uniwersytetu w Cambridge na osiemnaście miesięcy. Isaac Newton, student tej uczelni, wrócił do rodzinnego gospodarstwa i przez cały ten czas nie miał z kim rozmawiać o nauce. Sam wymyślił rachunek różniczkowy, odkrył prawo powszechnego ciążenia i dokonał kilku mniejszych odkryć. Trudno sobie wyobrazić bardziej produktywny okres w nauce, a fakt, że był to wynik pracy tylko jednego, samotnie pracującego człowieka, jest najbardziej zdumiewający.

505 Podstawą mechaniki Newtona są jego trzy prawa ruchu.

1. Nic się nie zdarzy, dopóki nie zacznie działać siła.

2. Siła przyłożona do ciała jest równa jego masie pomnożonej przez jego przyspieszenie:

$$F = ma$$

3. Każdej akcji towarzyszy równa i przeciwnie do niej skierowana reakcja.

I to jest właśnie to!

Tymi trzema prostymi prawami, łącznie z prawem ciążenia, Newton położył fundament pod współczesną naukę.

506 Praca Newtona zwykle nazywana jest mechaniką klasyczną. Newton zajmował się prawie wyłącznie ruchem obiektów materialnych. Zderzenie dwóch kul na stole bilardowym dobrze oddaje istotę Newtonowskiego pojęcia ruchu. Uczony udowodnił, że jego prawa pozwalają przewidzieć końcowe położenie i prędkości obiektów materialnych, jeżeli są znane ich położenia i prędkości początkowe. Prawa Newtona umożliwiają zatem śledzenie dalszych losów

układu, jeżeli wiadomo, gdzie się on znajduje w danym czasie. „Mechanika” jest dawną nazwą nauki o ruchu i fizycy dodali do niej słowo „klasyczna” w celu odróżnienia pracy Newtona od mechaniki kwantowej.

507 Najbardziej zdumiewająca wypowiedź na temat Newtonowskiego poglądu na świat należała do francuskiego matematyka Pierre’a-Simona Laplace’a (1749–1827), który zasugerował eksperyment myślowy z udziałem „boskiego rachmistrza”. Jego teza jest prosta. Gdybyś znał położenie i prędkość każdego atomu we Wszechświecie w danej chwili, mógłbyś użyć praw Newtona do przewidzenia ich położenia i prędkości w dowolnym momencie przyszłości. Oczywiście wykonanie tych obliczeń wymagałoby boskich zdolności (stąd „boski rachmistrz”), lecz w zasadzie jest to możliwe. Laplace zauważył wówczas, że gdyby atomy te znajdowały się na przykład w twojej ręce, to boski rachmistrz powiedziałby ci, gdzie się w przyszłości znajdzie twoja ręka. Czy dostrzegasz już, czytelniku, jaka to przyzwyczajenie dla wszystkich tych akademickich dyskusji o wolnej woli i przeznaczeniu?

508 Pierwsze prawo Newtona stanowi zasadę przyczynowości. Zgodnie z nim obiekt będzie się poruszał tak, jak się porusza, czyli bez zmian, chyba że zacznie działać na niego jakaś siła; oznacza to, że nic nie zdarza się bez przyczyny.

O pierwszym prawie Newtona można myśleć jak o narzędziu diagnostycznym. Jeżeli zauważymy zmiany ruchu obiektu, to wiemy już, że z całą pewnością działa na niego siła. Jeśli więc zaobserwujemy nową sytuację (np. ruch jednego magnesu względem drugiego), to pierwsze prawo wskaże nam, w jaki sposób zacząć tę sytuację wyjaśniać, czego szukać.

509 Z tego, że działa siła, nie wynika, iż musi wystąpić ruch. Na przykład można złożyć ręce przed sobą i mocno przyciskać jedną do drugiej. Czuje się doskonale, że działa siła, lecz nic się nie porusza. Dzieje się tak, ponieważ siła wywierana przez jedną rękę jest równoważona przez siłę, z jaką działa druga. Tak więc brak ruchu nie zawsze oznacza całkowitą nieobecność sił, może być wynikiem działania sił, które się znoszą.

510 Drugie prawo Newtona wiąże działanie siły z przyspieszeniem. Mówi się, że im mocniej coś będziesz popychać, tym szybciej się będzie poruszało, i że im masywniejsza jest pchana rzecz, tym mocniej trzeba ją będzie pchać. Ta wiedza ogólna, zdobyta w codziennym doświadczeniu, zgadza się z drugim prawem Newtona.

511 Drugie prawo Newtona pozwala przewidzieć dalszy ruch ciała, które już się porusza. Pracę tę należy wykonać w kilku etapach. Najpierw trzeba zidentyfikować działające siły, następnie wstawić je do wzoru na drugie prawo Newtona. Potem należy rozwiązać to równanie. Każdy zawodowy fizyk spędził niemalą część swej młodości, łamiąc sobie głowę nad rozwiązywaniem tych równań dla coraz bardziej złożonych sytuacji fizycznych.

512 Trzecie prawo Newtona wyjaśnia, dlaczego rakietą może poruszać się w przestrzeni kosmicznej, choć nie ma tam powietrza, od którego mogłaby się odpychać. Zastanówmy się najpierw nad wystrzałem ze strzelby. Kiedy pociągnie się za spust, na

pocisk zaczyna działać siła, która wypycha go z lufy. Trzecie prawo mówi, że jednocześnie na strzelbę działa siła równa, lecz przeciwnie skierowana. Siłę tę czuje strzelający na swym ramieniu jako odrzut strzelby.

W rakiecie lub samolocie odrzutowym silnik wywiera siłę na gorące gazy, odrzucając je do tyłu. Wtedy siła równa, lecz przeciwnie skierowana, pcha pojazd ku przodowi, dostarczając mu napędu.

513 W praktyce nawet system spełniający prawa Newtona, tylko bardziej złożony, dosyć szybko staje się nieprzewidywalny. Chociaż w zasadzie jest możliwe zastosowanie praw Newtona do obliczenia kolejnych położenia i prędkości pewnej liczby kul bilardowych, to jednak przy większej liczbie kul nawet komputer nie może policzyć więcej niż kilkadziesiąt przyszłych zderzeń. Niemożliwe do uniknięcia błędy pochodzące z zaokrąglenia w obliczeniach oraz zawsze obecne błędy pomiarowe popełnione w czasie określania początkowych położenia powodują, że błąd całkowity powiększa się przy każdym zderzeniu. Zamazuje to obraz do tego stopnia, że

przewidywania wynikające z obliczeń nie są już wiarygodne.

514 Galileusz jest odkrywcą prawa, które rządzi ruchem obiektów w pobliżu Ziemi. Odkrył on prawo spadania ciał i wykazał, że obiekt spadający na Ziemię z niewielkiej wysokości jest przyspieszany w swoim ruchu ku dołowi. Obliczył również to przyspieszenie. Wynosi ono $9,81 \text{ m/s}^2$, co oznacza, że prędkość ciała swobodnie spadającego na Ziemię wzrasta o $9,81 \text{ m/s}$ w każdej sekundzie tego spadania.

515 Isaac Newton dostarczył uczonym plan, według którego mogli czynić postępy w poznawaniu tajemnic natury – plan ten został nazwany metodą naukową. Metoda naukowa wy-

maga, aby badania składały się z dwóch etapów. W pierwszym uczeni poddają obserwacji jakiś obszar natury i przedstawiają swoje wnioski w postaci struktury matematycznej, zwanej teorią. W drugim etapie wykorzystuje się teorię do przewidywania nowych, jeszcze nie obserwowanych zjawisk i przewidywania te konfrontuje się z wynikami badań tych nowych zjawisk. W ten sposób wiedza rozszerza się na nowe obszary.

Aby nie być poświadczonym o nadmierne upraszczanie tego, co jest pomimo wszystko skomplikowanym, ludzkim, celowym działaniem, powinienem dodać, że obserwacja i konstruowanie teorii nie są niezależnymi czynnościami, lecz idą w parze i wzajemnie na siebie wpływają.

wiąże się z atomami. Aby było to całkowicie jasne, przedstawię poniżej listę różnych własności materiałów i ich związek z atomami.

516 Sposób, w jaki zachowuje się materiał, zależy od tego, jak atomy są ze sobą związane. Każda własność materiału

517 Ciśnienie. Pompując oponę, wprowadzasz do niej mnóstwo cząsteczek powietrza składających się z atomów. Cząsteczki te poruszają się bezładnie wewnątrz opony, a kiedy trafią na jej ściankę, odbijają się od niej. Każde uderzenie działa na ściankę z pewną niewielką siłą. Ciśnienie, jakie odczytujesz na mierniku, jest po prostu całkowitą sumą tych sił.

518 Ciśnienie wody i powietrza. Zarówno woda, jak i powietrze składają się z cząsteczek i dlatego są zdolne do wywierania ciśnienia. Na przykład cząsteczki w sześcienniej kostce wody w środku oceanu będą wywierać ciśnienie na wszystkie ścianki kostki – górną, dolną i boczne. Jeżeli wyobrazisz sobie słup wody sięgający dna oceanu, to na pewnym poziomie siła grawitacji działająca w dół musi być równoważona przez siłę skierowaną pionowo w górę. Siła ta jest skutkiem ciśnienia wywieranego przez niżej położone warstwy wody. Tak więc im głębiej zanurzysz się w ocean (lub atmosferę), tym wyższe jest ciśnienie. Na poziomie morza przeciętne ciśnienie powietrza wynosi 1013 hPa .

519 Siła wyporu. Jeżeli jakiś obiekt zostanie zanurzony w wodzie, to będzie na niego działało ciśnienie. Wynikiem działania tego ciśnienia jest siła skierowana pionowo w górę, nazywana siłą wyporu. Siła wyporu jest równa ciężarowi wody wypartej przez ten obiekt. Jeżeli obiekt będzie miał mniejszą gęstość niż woda, to będzie pływał po jej powierzchni, a jeżeli większą – to utonie.

Pytanie

Jak może pływać po wodzie statek, kiedy żelazo jest cięższe niż woda?
Odpowiedź: Objętość wody wypartej przez statek jest równa sumie objętości żelaza plus objętość powietrza zamkniętego w pomieszczeniach tego statku. Gdyby statek był całkowicie wypełniony wodą lub żelazem, utonąłby.

520 Archimedes odkrył prawo wyporu zapewne wtedy, kiedy zlecono mu rozstrzygnięcie, czy korona króla jest zrobiona z czystego złota, czy też złoto sfalszowano. Kiedy pewnego dnia wchodził

Fizyczne własności materii

do kąpiel, zauważył, że woda się podniosła. Podobno krzyknął wtedy „Eureka!” (znalazłem). Wyskoczył z wody i pobiegł zastosować swój pomysł. Mógł już rozstrzygnąć, czy korona jest wykonana z czystego złota, porównując ilość wody wypartej przez nią oraz ilość wody wypartej przez czyste złoto o ciężarze równym ciężarowi korony. W historii nie zachowała się informacja, czy korona była prawdziwa.

521 **Kohezja i adhezja.** Kiedy cząsteczki materiału są przyciągane przez inne cząsteczki tego samego materiału, zjawisko to nazywamy kohezją (spójność), a występującą w nim siłę przyciągania – siłą spójności. Siła ta utrzymuje ciało w całości. Kiedy przyciągają się cząsteczki różnych materiałów, mamy do czynienia ze zjawiskiem adhezji (przylegania). Siła przylegania powoduje przywieranie jednego ciała do drugiego. W obu przypadkach są to siły przyciągania między atomami.

522 **Napięcie powierzchniowe.** Siły spójności działające w cieczy mają tendencję do tworzenia kulek. Kropla wody

na pelerynie tworzy kuleczkę, ponieważ siła spójności nie dopuściła do rozlania się kropli, lecz utrzymuje ją w całości. Fizycy traktują siłę spójności jako siłę „ściąającą” powierzchnię i nazywają tę siłę napięciem powierzchniowym.

523 **Sprężystość.** Jest to własność ciał stałych, umożliwiająca im powrót do pierwotnego kształtu po ustąpieniu nacisku, który doprowadził do deformacji. Kiedy chcesz zgąć pręt metalowy, atomy w nim zawarte działają siłami przeciwstawiającymi się temu zgięciu. Po zwolnieniu nacisku siły wewnętrzne powodują powrót pręta do kształtu pierwotnego.

524 **Ścisłość.** Siły działające między atomami stają się siłami odpychającymi, jeżeli atomy zbyt blisko siebie. Materiał opiera się siłom zewnętrznym, kiedy te usiłują go ścisnąć. Pewne materiały opierają się ścisnaniu bardzo stanowczo. Należą do nich, na przykład, stal i woda. Inne materiały, jak powietrze, nie stawiają tak silnego oporu.

525 **Wytrzymałość na rozciąganie.** Wiemy już, że materiał stawia opór, kiedy jest ściskany. Stawia także opór w czasie prób rozciągania. Wytrzymałość materiału na rozciąganie to siła potrzebna do przewyciężenia sił przyciągania między atomami i rozerwania materiału. Stal ma dużą wytrzymałość na rozciąganie, papier przeciwnie – bardzo małą. Dość dziwnie zachowuje się szkło. Ma dużą wytrzymałość na rozciąganie. Rozerwać je trudno, lecz bardzo łatwo złuc.

526 **Osmoza.** Gdy dwa roztwory są rozdzielone błoną półprzepuszczalną, przez którą może przenikać woda, a nie przenikają cząsteczki substancji rozpuszczonej w wodzie, to po pewnym czasie stężenie roztworów po obu stronach błony ulegnie zmianie. Zjawisko to jest nazywane osmozą. Zmarszczona skóra po długiej kąpiel jest wynikiem nasiąknięcia wodą komórek skóry wskutek osmozy.

527 **Dyfuzja.** Kiedy zetkną się ze sobą dwie różne substancje (np. cieczy lub gazy),

to chaotyczne ruchy ich cząsteczek doprowadzą do powstania mieszaniny obu substancji. Zjawisko to nazywane jest dyfuzją. Można łatwo śledzić postępy dyfuzji, wpuszczając kroplę atramentu do szklanki wody i obserwując poszerzanie się strefy zabarwionej atramentem.

Ponieważ dyfuzja jest wywołana tylko chaotycznym ruchem cząsteczek, jej skutki mogą się ujawnić w nieoczekiwanych miejscach. Inżynierowie dobrze wiedzą, że gazy mogą dyfundować do zbiorników metalowych przez ich ścianki. Specjaliści zatrudnieni przy budowie i wysyłaniu w przestrzeń statków kosmicznych muszą się więc martwić o gazy uciekające z tych statków podczas ich długich misji.

528 **Włoskowatość.** Jeżeli zaburzymy w cieczy koniec rurki o bardzo małej średnicy wewnętrznej, to ciecz w rurce się podniesie, tzn. zostanie do rurki wciągnięta. Zjawisko to nazywamy włoskowatością. Zachodzi ono wskutek różnicy działających sił: siły spójności działającej pionowo w dół oraz siły przylegania (patrz wyżej) działającej między ściankami rurki a cieczą. Właśnie

dzięki włoskowatości woda w roślinach podnosi się wzwyż.

W rurce o danej średnicy wewnętrznej ciecz może się wznieść

tylko do pewnej granicy, wyznaczonej przez równowagę siły ciężkości słupa cieczy w rurce, siły spójności i siły przylegania.

Termodynamika, energia i ciepło

529 Badanie ciepła rozpoczęło się od momentu wynalezienia maszyny parowej u progu rewolucji przemysłowej. Walka konkurencyjna o lepsze i tańsze źródła energii spowodowała w Anglii, Francji i Niemczech rozwój dziedziny wiedzy nazywanej dziś termodynamiką. W tym przypadku technika pociągnęła za sobą rozwój badań podstawowych. Częściej bywa odwrotnie.

Dzisiaj termodynamika jest nauką, która dostarcza informacji o przemianach energii, stratach ciepła i wydajności wykorzystywanych zasobów energetycznych. Umożliwia również zrozumienie związków między światem, w którym żyjemy, a światem atomów.

Energia i moc

530 Pojęcie energii jest najważniejszym pojęciem termodynamiki, a właściwie całej nauki. Chociaż termin energia ma wiele różnych znaczeń, dla fizyka znaczy tylko jedno: układ ma energię, jeżeli jest zdolny do wywierania siły (czyli jest zdolny do wykonania „pracy”).

Istnieją różne rodzaje energii. Jeżeli obiekt się porusza, to jest zdolny do wywarcia siły na każdy obiekt, z którym się zderzy. Posiada zatem energię. Energię ruchu nazywamy energią kinetyczną.

Obiekt może mieć także energię związaną ze swoim położe-

niem. Jeżeli podniesiesz książkę, a następnie ją upuścisz, to książka spadając jest zdolna do wywierania siły i stąd do wykonywania pracy. Energia związana z położeniem nazywana jest energią potencjalną.

Obiekt może mieć także energię z racji swojej masy ($E = mc^2$ wraz ze wszystkimi konsekwencjami).

531 Istnieje wiele różnych rodzajów energii potencjalnej. Myśląc o podniesionej książce, stwierdzamy, że posiada ona energię, ponieważ jest przyciągana do Ziemi siłą grawitacji. Dlatego energię obiektu podniesionego w górę na pewną wysokość nazywamy energią potencjalną przyciągania ziemskiego.

Elektron w pobliżu jądra atomu ma energię, ponieważ może spaść na niższą orbitę. W tym przypadku spadek będzie spowodowany przez siły elektrostatyczne, dlatego energię tego elektronu nazywamy elektrostatyczną energią potencjalną.

Kiedy elektrony cząsteczek zmieniają swoje położenie względem siebie podczas reakcji chemicznej, to zmienia się także ich elektrostatyczna energia potencjalna. Energię zmagazynowaną

wie wzajemnym rozmieszczeniu elektronów nazywamy chemiczną energią potencjalną.

Istnieje również energia potencjalna związana z magnetyzmem, z siłami powodującymi sprężystość ciał i z innymi siłami.

532 To, co nazywamy ciepłem, jest przekazem energii kinetycznej na poziomie atomowym. Kiedy ciało jest gorące, atomy w nim poruszają się bardzo szybko, kiedy jest zimne, prędkość ruchu atomów jest mniejsza. To, co nazywamy ciepłem, jest tą ilością energii ruchu atomów, którą przekazało ciało cieplejsze ciału chłodniejszemu. Zrozumienie, że ciepło można przedstawić w ten sposób, było jednym z największych osiągnięć dziewiętnastowiecznej nauki.

Umożliwiło ono również powiązanie makroskopowego świata naszych zmysłów z niewidzialnym mikroskopowym światem atomów. Jeżeli potrafisz „przełożyć” widok czerwonej spirali piecyka i uczucie ciepła, jakiego doznajesz, zbliżając się do niego, na obraz szybko poruszających się atomów, jesteś na najlepszej drodze do wytworzenia sobie nowoczesnego obrazu otaczającego cię świata.

533 Istniejące formy energii nie są stałe – mogą łatwo przemienić się jedna w drugą. Kiedy na przykład zacierasz ręce na mrozie, energię kinetyczną ruchu rąk zamieniasz w ciepło. Podczas gotowania wody nad ogniskiem energia chemiczna drewna zamienia się w ciepło, które jest dostarczone wodzie, a ono z kolei zamienia się w energię kinetyczną pary unoszącej się nad kotłolikiem.

534 Całkowita ilość energii w układzie izolowanym nie zmienia się. Jest to najważniejszy fakt dotyczący energii. W języku fizyki mówi się, że energia układu jest „zachowana”, a powyższe prawo nazywa się prawem zachowania energii.

Prawo zachowania energii jest to inaczej sformułowana mądrość ludowa, według której: „nie ma nic za darmo”. Jeżeli chcesz ogrzać dom, musisz dostarczyć energię z jakiegoś źródła. Może ona być pobrana z elektrowni lub na przykład z pieca na ropę. Energia nie może być ani stworzona, ani zniszczona. Wszystko, co można z nią zrobić, to zamienić jedną jej formę na inną.

535 Pierwsza zasada termodynamiki mówi, że ciepło jest formą energii i że energia układu izolowanego jest zachowana. Jest to bezspornie jedno z najważniejszych praw przyrody.

536 „Moc” to szybkość, z jaką wydatkowana jest energia. Jeżeli na to samo piętro najpierw wejdiesz po schodach powoli, a następnie wbiegniesz tak szybko, jak tylko potrafisz, to w obu przypadkach zużyjesz tę samą ilość energii. Jednak, gdy wbiegasz, twoja moc jest większa, ponieważ zużywasz energię szybciej. Pewnie dlatego tak się zdyszałeś.

537 Prawie cała energia zużywana na Ziemi pochodzi od Słońca. Za pomocą procesu fotosyntezy jest ona przemieniana z energii w formie światła w energię chemiczną, która może być zmagazynowana (np. w węglu lub ropie naftowej), zużyta wprost przez rośliny albo pośrednio przez zwierzęta lub ludzi. Energia zużywana przez ciebie na trzymanie tej książki i wodzenie po niej oczami

w trakcie czytania trafiła do ciebie od Słońca właśnie wyżej opisaną drogą. Ostatecznie energia, której używaliśmy, staje się ciepłem straconym (patrz niżej) i wraca w przestrzeń jako promieniowanie podczerwone.

Wynika stąd, że nie tyle zużywamy energię, ile używamy jej, gdy przepływa przez nasze otoczenie.

538 Moc mierzy się w watach lub koniach mechanicznych. Jednostką mocy w systemie metrycznym jest wat. Kilowat, jak sama nazwa wskazuje, to tysiąc watów. Aparatura stereo ma moc kilkuset watów. W systemie angielskim jednostką mocy jest koń mechaniczny (KM). Silnik elektrycznego noża kuchennego ma moc 1 KM, a silniki samochodowe – od kilkudziesięciu do kilkuset KM.

539 Najlepiej nam znaną jednostką energii jest kilowatogodzina (kWh), która figuruje na naszych rachunkach za prąd. 1 kWh jest to ilość energii wyko-

rzystana przez urządzenie o mocy 1 kW pracujące przez 1 godzinę. Płacąc za 1 kWh, kupujesz sobie: jedną godzinę pracy małego podgrzewacza barowego; 10 godzin świecenia stuwatowej żarówki; ponad 3 godziny pracy telewizora.

540 James Watt (1736–1819), szkocki inżynier, wynalazca maszyny parowej, zdefiniował również jednostkę mocy – konia mechanicznego. Szukał sposobu zrekładowania swoich maszyn właścicielom kopalń. W tamtych czasach do napędzania pomp usuwających wodę z kopalń używano koni. Watt zmierzył prędkość, z jaką może pracować przeciętny koń przez dłuższy czas, a następnie zmierzył prędkość, z jaką wykonywała tę pracę jego maszyna. Mógł wtedy powiedzieć swoim potencjalnym klientom, że maszyna o mocy 1 konia mechanicznego może zastąpić w kopalni jednego konia.

Ciepło

541 Chociaż energia jest zachowana, nie musi pozostawać w tym samym miejscu przez cały czas. Dotyczy to zwłaszcza ciepła, które łatwo przenosi się z miejsca na miejsce. Jeżeli zimą wygaśnie w domu piec, szybko staje się w nim zimno, ponieważ ciepło ucieka na zewnątrz. Przenoszeniem ciepła z miejsca na miejsce rządzą trzy procesy: przewodnictwo, konwekcja i promieniowanie.

542 Przewodnictwo. Jeżeli w twoim domu jest ciepło, to cząsteczki po wewnętrznej stronie ściany będą poruszały się szybciej niż te znajdujące się na zewnątrz. Cząsteczki od strony wewnętrznej, zderzając się z tymi, które są nieco bardziej na zewnątrz, przekazują im pewną ilość energii. Wskutek tego te bardziej zewnętrzne cząsteczki zaczną poruszać się szybciej. Po pewnym czasie zewnętrzna strona ściany stanie się cieplejsza, niż była. Mówimy, że w tym procesie przepływa ciepło z wnętrza na zewnątrz domu, choć w istocie to energia jest przenoszona wzdłuż łańcucha atomów za pomocą zderzeń między nimi.

543 Konwekcja. Podczas gorącego, słonecznego dnia powietrze nad łądem rozgrzewa się. Jednocześnie wskutek ogrzania rozszerza się i ma mniejszą gęstość niż chłodne powietrze ponad nim. W końcu sytuacja staje się niestabilna. Ciepłe, lżejsze powietrze unosi się w górę, a zimne, cięższe splaya w jego miejsce z góry. Unoszące się w górę lżejsze powietrze zabiera ze sobą ciepło.

Konwekcja jest znacznie wydajniejszym procesem przenoszenia ciepła niż przewodnictwo. Drogą konwekcji jest przenoszona na przykład ciepło z wnętrza Słońca na jego powierzchnię. Konwekcja rządzi także pogodą na Ziemi.

Pytanie

W jaki sposób przenosi się ciepło w garnku z gotującą się wodą na kuchenke w kierunku powierzchni wody? Przez konwekcję czy przewodnictwo? Odpowiedź: Przez konwekcję. Obserwując wodę, można z łatwością wskazać, w którym miejscu woda wraz z bańkami unosi się do góry i gdzie opada.

544 Promieniowanie. Jeżeli wyciągniesz rękę w kierunku ognia, poczujesz ciepło. To doznanie jest wynikiem przeniesienia energii z ognia do ręki. Ciepło w ogniu zamienia się w promieniowanie podczerwone. Promieniowanie to rozchodzi się w przestrzeni i jest absorbowane przez rękę, gdzie znów zostaje zamienione w energię kinetyczną atomów. Każdy obiekt, którego temperatura jest wyższa niż temperatura otoczenia, traci ciepło przez promieniowanie.

Druga zasada termodynamiki

545 Energia to jeszcze nie wszystko. Aby to zrozumieć, należy przypomnieć sobie, jak łatwo jest stłuc jajko, a jak trudno je złożyć z powrotem w całość. Jednak z punktu widzenia energii oba te procesy nie różnią się od siebie. Intuicja podpowiada nam, że trudno jest zrobić porządek na świecie, a bardzo łatwo go zniszczyć. Nie daje się to powiązać z samą tylko pierwszą zasadą termodynamiki.

546 Druga zasada termodynamiki dotyczy pojęcia porządku we Wszechświecie. Jest to pojęcie trudne do zrozumienia, chociaż opiera się na kilku najprostszych obserwacjach. Jeżeli położy się kostkę lodu na stole, ciepło będzie przepływało z powietrza do lodu, a nie odwrotnie. Prowadzi to do pierwszego sformułowania drugiej zasady termodynamiki: 1. Ciepło nie może spontanicznie przepłynąć od obiektu zimnego do gorącego. Można je także wyrazić inaczej: 2. Nie jest możliwa zamiana ciepła na pracę ze stuprocentową sprawnością. 3. Stopień nieuporządkowania układu izolowanego musi z czasem rosnać, w najlepszym przypadku pozostanie bez zmian. Można udowodnić matematycznie, że każde z tych trzech sformułowań drugiej zasady termodynamiki zawiera w sobie dwa pozostałe. Innymi słowy, choć z pewnością nie jest to oczywiste, sformułowania te są równoważne.

547 Świat się kończy, przynajmniej według ostatniego sformułowania drugiej zasady termodynamiki. Mówi ono, że stopień nieuporządkowania

w układzie musi z czasem rosnąć, chyba że układ nie jest izolowany od swego otoczenia. Do trzeciego sformułowania drugiej zasady wprowadzono pojęcie entropii. Entropia jest na poziomie atomowym miarą stopnia nieuporządkowania w układzie. Wprowadzając pojęcie entropii do drugiej zasady termodynamiki, można je sformułować następująco: „Entropia układu izolowanego nie może maleć”.

548 Z drugiej zasady termodynamiki nie wynika, że układy nie mogą się stać bardziej uporządkowane. Kiedy między częściami układu przepływa energia, może się zdarzyć, że jedna część układu stanie się bardziej uporządkowana, a stopień nieuporządkowania drugiej części wzrośnie. Posłużmy się przykładem układu złożonego z Ziemi i Słońca. Mała liczba cząsteczek w żywych organizmach na Ziemi stanie się bardziej uporządkowana, lecz w tym samym czasie stopień nieuporządkowania o wiele większej liczby cząsteczek w Słońcu wzrośnie. W sumie stopień nieuporządkowania układu złożonego z Ziemi i Słońca wzrośnie.

549 Druga zasada termodynamiki mówi, że o energii musimy myśleć nie tylko w kategoriach jej ilości, lecz również jakości. Twierdzenie, że nie możemy przemienić ciepła w pracę ze stuprocentową sprawnością, oznacza, że kiedy zabierzemy się do realizacji takiej przemiany (np. w elektrowni), to część posiadanego przez nas początkowo ciepła musi być oddana atmosferze, skąd tego ciepła nie można już odzyskać. Dlatego za najbardziej wartościową uważamy energię związaną z wysoką temperaturą. Ulega ona degradacji za każdym razem, kiedy zostaje użyta.

Za przykład niech służy ciepło pochodzące z reaktora jądrowego lub elektrowni opalanej węglem. Ciepło to jest zamienione na energię niższego stopnia, tj. na elektryczność. Doprowadzona do mieszkań elektryczność jest przetwarzana na energię jeszcze niższego stopnia, kiedy jest wykorzystywana do zasilania różnych urządzeń domowych. Na każdym stopniu przetwarzania energii jej część jest zamieniana w ciepło niskiego stopnia przechodzące do otoczenia. Proces przetwarzania energii jest „jednokierunkowy”, ponieważ podczas każdej przemiany część ener-

gii przechodzi w energię najniższego stopnia, która nie może być już użyta. Inaczej mówiąc, energia nie jest tracona, tylko przemieniona w taką formę, której nie można już wykorzystać.

550 Z drugiej zasady termodynamiki wynikają poważne konsekwencje dla energetyki, ponieważ określa ona maksymalną sprawność wszystkich silników cieplnych. Do silników cieplnych należą zarówno generatory w elektrowniach, jak i silniki samochodowe. Zgodnie z drugą zasadą termodynamiki nasze współczesne elektrownie nie mogą mieć sprawności większej niż około 40 procent. Innymi słowy, aby wytworzyć elektryczność, około 2/3 energii uzyskanej ze spalonego węgla musi zostać wypuszczone w powietrze. Nie wynika to z wadliwej konstrukcji czy też innych błędów inżynierów – jest to konsekwencja jednego z fundamentalnych praw przyrody. Należy podkreślić, że sprawność nowoczesnych elektrowni osiąga lub przewyższa 30 procent. Inżynierowie zdołali sprawić, że działanie elektrowni bar-

dzo zbliżyło się do teoretycznych granic.

551 Ogrzewanie domów poprzez spalanie w piecach oleju opałowego nie podlega ograniczeniom, jakie narzuca druga zasada termodynamiki, ponieważ piece nie są maszynami. Nie służą do uzyskiwania pracy użytecznej, tylko do produkowania ciepła. Dlatego takie urządzenia dostarczają energię z wyższą sprawnością niż elektrownia.

552 Z powodu działania drugiej zasady termodynamiki nie nastąpi koniec Wszechświata, wbrew rozpowszechnionemu w XIX w. przekonaniu, że zmierza on do „śmierci termicznej”. Sądzono, że wskutek działania drugiej zasady cała istniejąca energia zostanie zamieniona w ciepło stracone i cały Wszechświat osiągnie jednakową temperaturę. Nie wierzymy już w taki jego koniec, gdyż nie ma żadnych podstaw, by uznać go za układ izolowany. Teraz wiadomo, że Wszechświat rozszerza się i stygnie, a więc jego koniec wyobrażamy sobie inaczej.

Ciepło i materiały

553 Większość materiałów rozszerza się podczas ogrzewania, bo gdy ciału dostarcza się ciepło, jego atomy poruszają się szybciej. Można sobie wyobrazić, że szybciej poruszające się atomy muszą mieć więcej miejsca, by „mieć gdzie się obrócić”. Tak więc większość materiałów rozszerza się ze wzrostem temperatury.

554 Woda nie zawsze rozszerza się podczas ogrzewania. Powszechnie wiadomo, że zamarzając rozszerza się. Z tego powodu na mrozie pękają rury wodociągowe. W przedziale temperatur między 0 a 4°C woda kurczy się podczas ogrzewania, osiągając w temperaturze 4°C największą gęstość. Poniżej 4°C jej gęstość maleje. Oznacza to, że woda na dnie oceanu może być cieplejsza niż powyżej.

555 Topnienie i parowanie wymagają energii. Jeżeli ogrzewamy ciało stałe, jego atomy poruszają się coraz szybciej.

W końcu zostaje osiągnięty taki stan, w którym atomy nie mogą się już dłużej utrzymać w sztywnej strukturze i zaczynają się uwalniać, a materiał przemienia się z ciała stałego w ciecz. Mówimy wtedy, że się topi.

Podczas gdy energia potrzebna do rozerwania wiązań jest dostarczana ciału, jego temperatura pozostaje stała (temperatura topnienia). Podniesienie temperatury materiału powyżej temperatury topnienia wymaga dodatkowej energii.

Procesy tego samego rodzaju jak w przypadku topnienia ciał stałych zachodzą podczas wrzenia cieczy. W czasie wrzenia jednak dodatkowa energia jest zużywana na pokonanie przez cząsteczki sił przyciągania i opuszczenie przez nie cieczy.

556 Temperatura wrzenia cieczy zależy od ciśnienia. Uwalnianie się atomów z powierzchni ogrzewanej cieczy jest łatwiejsze, gdy ciśnienie zewnętrzne jest niższe. Z tej przyczyny woda na większych wysokościach wrze w niższych temperaturach niż na poziomie morza. Można zetknąć się z tym zjawiskiem, gotując potrawy w górach.

557 Zero bezwzględne jest najniższą możliwą temperaturą. Według klasycznego podejścia najniższą temperaturą jest ta, w której ustanie wszelki ruch atomów. Zerem bezwzględnym jest temperatura $-273,15^{\circ}\text{C}$. Dzisiaj, wraz z rozwojem mechaniki kwantowej, wiemy, że ruch atomów nie może ustać całkowicie w zwykłym znaczeniu tego słowa. Zero bezwzględne definiujemy obecnie zgodnie z mechaniką kwantową jako temperaturę, w której atomy mają najniższą możliwą energię. Substancji znajdującej się w temperaturze zera bezwzględnego, zarówno w klasycznym, jak i kwantowym ujęciu, nie moż-

na odebrać energii żadnym sposobem.

558 Najniższa temperatura, jaką uzyskano w laboratorium, jest tylko o jedną miliardową wyższa od zera bezwzględnego, a temperatury o 4° wyższe od zera bezwzględnego otrzymuje się już rutynowo. Na drugim końcu skali temperatur reakcje syntezy termojądrowej w laboratoriach i w bombach termojądrowych zachodzą w temperaturach porównywalnych z tymi, które panują we wnętrzu Słońca, a które przypuszczalnie osiągają około 150 milionów stopni.

5

**Fizyka
współczesna**

Przewodzenie prądu elektrycznego

559 Reakcja materiału na działanie sił elektrycznych zależy od wzajemnego rozmieszczenia atomów i sił działających między nimi. Oba te czynniki decydują o tym, czy ładunki elektryczne pod wpływem zewnętrznej siły elektrycznej będą zdolne do przemieszczania się w materiale, a więc o tym, czy przez materiał będzie mógł płynąć prąd elektryczny.

560 W przewodnikach muszą się znajdować swobodne ładunki elektryczne. Przewodnik to materiał, przez który może płynąć prąd elektryczny. Przewodnikiem może więc być tylko taki materiał, w którym są swobodne ładunki elektryczne. Istnieje wiele rodzajów przewodników. Różnią się rodzajem ładunków oraz sposobem ich powstawania.

561 W materiałach takich jak metale część elektronów nie jest związana ze swoimi atomami, mogą się więc poruszać swobodnie wewnątrz całego materiału. Elektrony te należą jednocześnie do wszystkich atomów. Te nie związane nośniki nazwano elektronami przewodnictwa. W me-

talach takich jak miedź mniej więcej jeden elektron na atom jest elektronem przewodnictwa. Metale są najczęściej używanymi przewodnikami.

562 Nie tylko metale są zdolne do przewodzenia elektryczności. Kiedy zapala się lampę jarzeniową, niektóre atomy w gazie ulegają jonizacji i tracą elektrony. Pod wpływem przyłożonego napięcia mogą się one poruszać. Również w roztworze otrzymanym po rozpuszczeniu soli kuchennej w wodzie znajdują się jony. Mają one swobodę ruchu, dzięki czemu roztwór może przewodzić prąd elektryczny. Zarówno roztwór wody z solą, jak i zjonizowany gaz są przykładami przewodników nie będących metalami.

563 Aby materiał znalazł powszechne zastosowanie jako przewodnik, musi nie tylko dobrze przewodzić prąd, ale też być względnie tani. Miedź spełnia oba te warunki i dlatego jest najczęściej używanym przewodnikiem. Przewody elektryczne w twoim domu prawdopodobnie są także wykonane z miedzi. Cza-

sami używa się do tego celu aluminium, lecz nie jest ono tak dobrym przewodnikiem jak miedź. W pewnych sytuacjach koszty mają znaczenie drugorzędne, na przykład w przypadku budowy statków kosmicznych. Ich obwody elektryczne wykonuje się ze złota lub srebra, które są lepszymi przewodnikami niż miedź.

564 W izolatorach elektrony są silnie związane ze swoimi atomami. Izolator to materiał, który nie przewodzi prądu elektrycznego. Zewnętrzne siły elektryczne nie są wystarczająco duże, aby w takim materiale oderwać elektrony od atomów. Pod wpływem przyłożonego napięcia nie poruszy się żaden elektron, więc nie popłynie też prąd. Izolatorami są na przykład: drewno, plastik, guma i szkło.

Pytanie

Z jakiego materiału są wykonane kontakty u Ciebie w domu? Dlaczego właśnie one zostały do tego celu zastosowane? Odpowiedź: Najczęściej do tego celu używa się plastyku, ponieważ jest dobrym izolatorem. Izolatory są tam właśnie po to, byś nie mógł dotknąć przewodu pod napięciem.

565 Każdy materiał przewodzi prąd, gdy przyłożony do niego wystarczająco wysoki napięcie, ponieważ zawsze ono może uwolnić elektrony z atomów. Powietrze na przykład jest uważane za izolator. Kiedy jednak w chmurach burzowych zbierze się ogromny ładunek elektryczny, atomy powietrza w pobliżu chmur ulegają jonizacji i powietrze zamienia się w plazmę. W taki sposób powstaje piorun.

566 Pewne materiały, na przykład krzem i german, nie są ani przewodnikami, ani izolatorami. Przez krzem może przepłynąć milionowa część prądu elektrycznego, który płynie przez miedź. Takie materiały są nazywane półprzewodnikami. Sekret półprzewodników polega na tym, że pewne elektrony w nich są dość słabo związane ze swoimi atomami. Kiedy atomy drgają, a tak właśnie zachowują się wszystkie w temperaturach wyższych od zera bezwzględnego, pewna liczba tych elektronów się uwalnia. Tak więc w półprzewodniku znajduje się niewielka liczba elektronów przewodnictwa. Wyjaśnia to, dlaczego przez półprzewodnik może płynąć prąd elekt-

ryczny i dlaczego natężenie tego prądu jest takie małe.

567 Komputer osobisty, radio, telewizor, a nawet mały dyktafon, którego teraz używam – wszystkie te urządzenia zawierają części wykonane z półprzewodników. Bez udziału półprzewodników nie można obecnie ani zarezerwować biletów na samolot, ani zadzwonić do przyjaciół. Okazało się, że ten niezwykły rodzaj materiału wywiera absolutnie decydujący wpływ na rozwój nowoczesnej techniki.

Dobrze się składa, że wszystkie plaże na całym świecie są pełne krzemu.

568 W półprzewodniku prąd przewodzą i elektrony, i „dziury”. Uwolniony elektron przewodzi prąd w sposób normalny. Pozostawia on po sobie wolne miejsce w sieci nazywane dziurą. W tę dziurę może wpaść elektron z innego atomu, pozostawiając dziurę we własnym atomie. Z kolei do tej dziury może wpaść następny elektron itd. W ten sposób ruchowi elektronów w jednym kierunku towarzyszy odpowiedni ruch dziur w przeciwnym kierunku, co odpowiada ruchowi ładunku dodat-

niego. Ruch dziur jest drugim rodzajem prądu elektrycznego w półprzewodnikach.

569 Proces, który umożliwia przemianę półprzewodnika w materiał wykorzystywany w komputerach osobistych i innych przydatnych urządzeniach, nazywa się domieszkowaniem. Proces ten przeprowadza się następująco. Topi się czysty krzem i do ciekłego dodaje się małą liczbę atomów innego rodzaju. Kiedy krzem zastygnie, atomy domieszki zostają wbudowane w jego sieć krystaliczną w ten sposób, że cztery elektrony zewnętrzne utworzą wiązania kowalencyjne. Jeżeli atomy pierwiastka stanowiącego domieszkę mają więcej niż cztery elektrony na ostatniej powłoce, to jego zewnętrzne elektrony, które nie utworzyły wiązań kowalencyjnych, łatwo się uwolnią. Mogą one przewodzić prąd i nie będą pozostawiały za sobą dziur w ich atomach macierzystych. Atomy domieszki, utraciwszy elektrony, będą miały ładunek dodatni. Półprzewodnik domieszkowany w ten sposób jest nazywany półprzewodnikiem typu „n” (od słowa *negative*), ponieważ domieszka wniosła nośniki ładunku ujemnego.

Jeżeli atomy domieszki mają

mniej niż cztery elektrony na orbicie zewnętrznej, to w sieci krystalicznej krzemu pojawiają się dziury, które będą zdolne do poruszania się bez zostawiania elektronów po sobie. Kiedy dziura zmieni miejsce, to atom, do którego należała, uzyska dodatkowy elektron i dlatego jego ładunek będzie ujemny. Taki materiał nazywany jest półprzewodnikiem typu „p” (od *positive*), ponieważ domieszka wnosiła nośniki ładunku dodatniego.

570 Najprostszym urządzeniem półprzewodnikowym jest dioda złożona z połączonych ze sobą dwóch półprzewodników, jednego typu „p” i jednego typu „n”. Dodatkowe elektrony z półprzewodnika typu „n” będą dyfundować przez granicę między obu półprzewodnikami i wpadną w dziury w półprzewodniku typu „p” zapelniając je. Podobnie dziury pochodzące z domieszki mogą dyfundować w przeciwną stronę i absorbować elektrony pochodzące z domieszki. Wynikiem tych procesów jest całkowite zapelnienie dziur elektronami. W ten sposób w pobliżu złącza, po stronie „n” tworzy się obszar jonów dodatnich, a po stronie „p” – jonów ujemnych.

Ta prosta manipulacja atomami leży u podstaw przemysłu elektronicznego. Powstała w jej wyniku dioda przewodzi prąd elektryczny praktycznie tylko w jednym kierunku.

571 Najbardziej rozpowszechnionym urządzeniem półprzewodnikowym jest tranzystor. Typowy tranzystor składa się z trzech warstw półprzewodnika: albo są to dwie warstwy półprzewodników typu „p” przelozone warstwą typu „n”, albo odwrotnie. Ładunki (elektrony albo dziury), płynąc z jednego do drugiego kawałka „chleba” w tym „sandwiczu”, przez krótką chwilę znajdują się w warstwie środkowej (stanowiącej w tej kanapce „mięso”) z półprzewodnika innego typu. Kiedy wprowadzimy małą zmianę napięcia przyłożonego do centralnej części urządzenia, to spowoduje ona dużą zmianę prądu płynącego między dwiema zewnętrznymi częściami, podobnie jak mały ruch zaworem może wywołać duże zmiany strumienia wody w rurze wodociągowej. W ten sam sposób mały sygnał przyłożony do wewnętrznej części tranzystorowej „kanapki” może zmienić się w duży sygnał prądu płynącego przez

tranzystor. Tak pracuje tranzystor w twoim gramofonie. Mały sygnał elektryczny z igły przekształca on w duży sygnał podany na głośniki. Urządzenie przekształcające mały sygnał w duży nazywa się wzmacniaczem.

572 Układ scalony może zawierać tysiące tranzystorów. Początkowo tranzystory były dość duże, lecz obecnie technologowie potrafią umieścić tysiące tranzystorów w płytce krzemu o rozmiarach znaczka pocztowego. Proces pozwalający to uzyskać polega na warstwowym nakładaniu materiału typu „p” i typu „n” bezpośrednio na płytkę krzemu. W ten sposób warstwy „sandwicza” mogą mieć bardzo małą grubość, tak małą jak przekrój jednego atomu. Otrzymane w ten sposób urządzenie nazywa się układem scalonym i działa na przykład w kalkulatorze i komputerze osobistym.

573 Układ scalony znajdujący się obecnie w kalkulatorze jest mniejszy od znaczka pocztowego. Kalkulator jednak nie może być znacznie mniejszy od karty kredytowej

z prostego powodu. Jego klawisze muszą być dostatecznie duże, aby człowiek mógł wprowadzić dane. W ten sposób ograniczeniem dla kalkulatora nie jest technologia półprzewodnikowa, lecz rozmiary palca człowieka.

574 O rewolucji, jakiej dokonało niedawne odkrycie półprzewodników, zapomniano bardzo szybko. Kiedy byłem studentem fizyki na uniwersytecie w Illinois we wczesnych latach sześćdziesiątych, jednym z moich ulubionych zajęć była pracownia elektroniki. Specjalną nagrodą za szybkie ukończenie ćwiczeń było otrzymanie tranzystora, który był wtedy nowością. Od tamtego czasu urządzenia pracujące na lampach elektro- nowych, a pierwsze urządzenia elektroniczne były właśnie lampowe, stały się eksponatami muzealnymi.

575 Istnieją takie materiały, które przewodzą prąd elektryczny bez strat energii – nazywają się nadprzewodnikami.

Inaczej mówiąc, nadprzewodniki nie grzeją się, a prąd elektryczny raz zapoczątkowany może w nich płynąć przez wieczność. Do niedawna takie zachowanie spotykało się tylko w materiałach utrzymywanych w temperaturach o kilka stopni wyższych od zera bezwzględego. Popularny, dostępny w sprzedaży nadprzewodnik musiał być zanurzony w ciekłym helu (4° powyżej zera bezwzględego), inaczej tracił własność nadprzewodnictwa.

Zasada działania nadprzewodnika jest następująca. Kiedy w materiale nie będącym nadprzewodnikiem pojedynczy elektron znajdzie się między dwoma jonami, to przyciąga te jony i wolno zbliżają się one ku sobie. Te dwa jony mają ładunek dodatni, mogą więc przyciągnąć drugi elektron. W ten sposób dwa elektrony tworzą parę, która przemieszcza się wspólnie. Jeżeli temperatura, w jakiej znajduje się ciało, jest dostatecznie niska, to ruchy termiczne nie będą rozrywały tworzących się par i wszystkie elektrony w materiale połączą się w tzw. pary Coopera. Pary te łączą się ze sobą i w wyniku tego wszystkie elektrony w metalu stają się elementami jednolitej struktury. W ten sposób żaden elek-

tron nie może stracić energii kinetycznej, ponieważ jest zablokowany przez inne elektrony. Tak więc cały układ elektronów przemieszcza się łącznie, nie przekazując energii sieci krystalicznej.

576 Gdyby cały prąd zużywany przez Stany Zjednoczone miał zostać przesłany jednym przewodem z nadprzewodnika, to przewód ten nie musiałby być grubszy niż średnica piłki do koszykówki.

577 Do dzisiejszego dnia nadprzewodniki stosuje się głównie do budowy elektromagnesów. Takie ich zastosowanie ma oczywiste zalety. Prąd zainicjowany w zamkniętej pętli przewodu będzie płynął nieprzerwanie, cały czas produkując pole magnetyczne. Musi być tylko spełniony jeden warunek: stałe utrzymywanie przewodu w odpowiednio niskiej temperaturze.

578 Wciąż trwają próby wynalezienia materiałów, które byłyby nadprzewodnikami w temperaturze pokojowej. Wielką przeszkodą technologiczną

w szerokim zastosowaniu nadprzewodników jest fakt, że zjawisko nadprzewodnictwa występuje tylko w bardzo niskich temperaturach. Próby wynalezienia materiałów posiadających własności nadprzewodników w temperaturach normalnych trwają już dziesiątki lat. Chociaż nie ma widoków na szybkie pojawienie się takich materiałów, są one ciągle marzeniem fizyków. W 1986 r. odkryto materiały, które pozostawały nadprzewodnikami w „wysokich” tem-

peraturach – tzn. wysokich, jeśli porównać je z temperaturą ciekłego helu. Materiały te pozostawały nadprzewodnikami w temperaturze -173°C . Takie nadprzewodniki mogą pracować zanurzone w ciekłym azocie, który jest tańszy i bardziej dostępny od ciekłego helu. Materiały, o których mowa, to dosyć krucha ceramika i pewnie minie jeszcze sporo czasu, zanim będzie produkowana w użytecznej formie i odpowiednio tanio.

Jądro atomu i promieniotwórczość

579 Większość masy atomu, lecz znikomą jego objętość, stanowi jądro atomowe. W przeciętnym, obojętnym elektrycznie atomie masa jądra jest około czterech tysięcy razy większa od masy jego elektronów. Dlatego, gdy mówimy o masie atomu, możemy pominąć masę elektronów, nie popełniając większego błędu.

Atom jest natomiast tworem prawie zupełnie pustym. Gdyby jądro atomu przedstawić jako pił-

kę do koszykówki leżącą u twych stóp, to elektrony stanowiłyby kilka tuzinów ziaren piasku rozsypanych w twojej okolicy. Dla ścisłości podaję, że liniowe rozmiary jądra stanowią 10^{-5} część rozmiarów całego atomu.

580 Jądro atomu odkrył w 1911 r. Ernest Rutherford w Manchesterze w Anglii. Wraz ze współpracownikami bombardował złotą folię cząstkami α (patrz niżej). Większość czą-

stek przechodziła przez folię bez zmiany kierunku lub ich tor był nieznacznie odchylony, ale jedna cząstka na tysiąc była przez atomy folii zawracana. Rutherford porównał wynik doświadczenia ze strzelaniem z karabinu do chmury i odkryciem, że od czasu do czasu jakiś pocisk się od tej chmury odbija. W obu przypadkach (i folii, i chmury) można było wyciągnąć tylko jeden wniosek, że gdzieś we wnętrzu folii (i chmury) znajdowało się małe ciało o dużej gęstości, które zdolne było do odbicia szybko poruszających się cząstek i zmuszało je do zmiany kierunku ruchu. To małe ciało o dużej gęstości Rutherford nazwał jądrem.

581 Rutherford jest jedną z tych niezwykłych postaci, które swój największy wkład w naukę wniosły po otrzymaniu Nagrody Nobla. Dostał on tę nagrodę w dziedzinie chemii w 1908 r. za prace nad naturą cząstek elementarnych emitowanych przez materiały promieniotwórcze (patrz niżej), a dopiero później odkrył, że atom ma jądro.

582 Jądro składa się z protonów i neutronów, nazywanych nukleonami. Rutherford nazwał jądro atomu wodoru, czyli pojedynczą cząstkę naładowaną dodatnio – protonem (pierwszy). Całkowity dodatni ładunek jądra jest sumą ładunków protonów, a liczba elektronów na orbitach, w atomie obojętnym elektrycznie, jest równa liczbie protonów w jądrze.

Neutron (neutralny) ma masę nieznacznie większą od masy protonu, lecz, jak sama nazwa wskazuje, nie ma ładunku elektrycznego. Neutrony powiększają masę jądra, nie zmieniając jego ładunku.

Najtrwalsze jądra zawierają w przybliżeniu równe liczby protonów i neutronów. Jeżeli ta ogólna reguła zostaje złamana, z czym mamy do czynienia w przypadku pierwiastków ciężkich, to liczba neutronów przekracza liczbę protonów.

583 Chemiczna identyczność atomu zależy od liczby protonów w jądrze. Liczba protonów w jądrze, tzw. liczba atomowa oznaczana literą „Z”, określa chemiczną naturę atomu, ponieważ decyduje o liczbie elektronów na jego zewnętrznej orbicie.

Jeśli więc powiesz mi, jaka jest liczba protonów w jądrze, ja ci powiem, jaki to rodzaj atomu. Jeżeli na przykład w jądrze jest sześć protonów, to jest to atom węgla, jeśli osiem – tlenu itd.

584 Dodatkowe neutrony w jądrze nie zmieniają chemicznej natury atomu, gdyż nie zmieniają liczby elektronów potrzebnej do zubożenia ładunku jądra. Dlatego możliwe jest istnienie wielu różnych odmian atomu danego pierwiastka. Każda z tych odmian ma w jądrze tę samą liczbę protonów, lecz inną liczbę neutronów. Takie odmiany pierwiastków nazywane są izotopami.

Pytanie

Atom deuteru ma w jądrze jeden proton i jeden neutron. Jakiego chemicznego pierwiastka jest to izotop? Odpowiedź: Wodoru.

585 Elektrony i jądro możesz w przybliżeniu traktować jako dwa odrębne układy, każdy z nich wykonuje swoje zadania, ignorując drugi układ. Oznacza to, że dla jądra praktycznie nie

ma znaczenia, czy atom jest swobodny, czy też jego elektrony stały się częścią wiązań chemicznych. W obu tych sytuacjach jądro zachowa się identycznie.

Oznacza to również, że elektronom jest obojętne, czy jądro ma dodatkowy neutron, czy nie. Różne izotopy danego pierwiastka odgrywają równorzędną rolę w składzie minerałów lub innych materiałów. W każdym materiale, w skład którego wchodzi dany pierwiastek, pojawiają się wszystkie jego izotopy.

Promieniotwórczość

586 Jądro jest wtedy promieniotwórcze, gdy samorzutnie emituje cząstki. Przeważnie jądra są trwałe, tzn. jeden pierwiastek nie zmienia się samorzutnie w inny. Istnieją jednak jądra, które nie są trwałe. Prawdopodobnie najlepiej znanym przykładem takiego pierwiastka jest uran. Jego jądro emituje cząstki nazywane promieniowaniem. O jądrze, które emituje promieniowanie, mówimy, że jest promieniotwórcze, a sam akt wyemitowania promieniowania to rozpad promieniotwórczy.

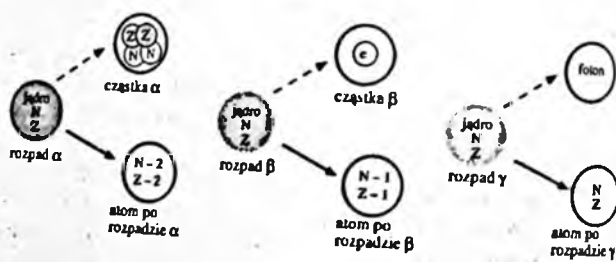
587 Maria Skłodowska-Curie, Polka, która spędziła większość swego życia we Francji, odegrała główną rolę we wczesnych badaniach nad promieniotwórczością. Z wielu powodów zasługuje na podziw. Odkryła, wraz z mężem Pierre'em Curie, pierwiastek rad oraz samodzielnie – pierwiastek polon. Za te odkrycia otrzymała dwukrotnie Nagrodę Nobla.

Jednakże w XIX w. opór przeciwko temu, by kobietę uznać za naukowca był tak wielki, że mimo dwu Nagród Nobla nigdy nie wybrano jej do Francuskiej Akademii Nauk.

500 Istnieją trzy rodzaje promieniowania jądrowego. Gdy odkryto promieniotwórczość, fizycy nie mieli pojęcia, czym jest emitowane promienio-

wanie. Dali więc trzem obserwowanym rodzajom promieniowania jądrowego nazwy podkreślające ich tajemniczą naturę – nazwali je α , β i γ .

Promieniowanie α to strumień cząstek α zbudowanych z dwóch protonów i dwóch neutronów, czyli jąder zwyczajnego helu. Promieniowanie β jest strumieniem elektronów. Chociaż to tajemnicze nowe promieniowanie odkryto po zidentyfikowaniu elektronu, jeszcze przez kilka następnych lat nie zauważono, że promienie β są identyczne z elektronami. Rozpad jądra, w wyniku którego następuje emisja elektronu, nazwano rozpadem β . Promieniowanie γ jest promieniowaniem elektromagnetycznym, którego długość fali jest mniejsza niż długość fali promieniowania X.



Promienowanie α (rysunek lewy), β (rysunek środkowy) i γ (rysunek prawy).

589 Hel, którego często używasz do napelniania dziecięcych baloników urodzinowych, a który w postaci ciekłej służy do utrzymywania nadprzewodników w niskich temperaturach, nie jest otrzymywany z atmosfery ziemskiej. Jego źródłem jest rozpad promieniotwórczy jąder w głębi ziemi. Podczas tego rozpadu powstają cząstki α , które tracą prędkość i zdobywają brakujące im elektrony. Tak tworzy się z nich hel, który jest uwięziony w złożach ropy naftowej i gazu ziemnego. Podczas eksploatacji złóż gazu i ropy naftowej hel oddziela się i sprzedaje.

twórczego pochodzi z ubytku masy. Gdybyś zmierzył masy produktów końcowych rozpadu promieniotwórczego, wykryłbyś, że masa ich jest mniejsza niż początkowa masa jądra, które uległo rozpadowi. Ta różnica mas (m) przed rozpadem i po nim jest przemieniona w energię zgodnie z równaniem $E = mc^2$ (c – prędkość światła w próżni). Ta właśnie energia związana jest z promieniotwórczością.

592 Rozpad promieniotwórczy jest prawdziwym kamieniem filozoficznym, czyli kamieniem, który według alchemików miał przemieniać ołów w złoto, a dokładniej – jeden pierwiastek w drugi. Ponieważ rozpady α i β powodują zmianę liczby protonów w jądrze, zmieniają one także tożsamość chemiczną atomu, do którego należy jądro.

Po rozpadzie α jądro będzie mogło utrzymać o dwa elektrony mniej niż przed rozpadem. Te dwa elektrony uwolnią się i pozostanie atom, który ma na orbicie zewnętrznej o dwa elektrony mniej. Atom ten będzie już innym pierwiastkiem niż atom, z którego powstał. Rozpad β można sobie wyobrazić, jakby to był

590 Neutron ulega rozpadowi β . Gdybyś obserwował swobodny neutron, mógłbyś zobaczyć jego rozpad po blisko ośmiu minutach. Produktem rozpadu jest proton, neutrino i elektron. Neutron, który znajduje się w jądrze, jest trwały i zabezpieczony przed rozpadem tak długo, jak długo tam pozostaje.

591 Energia wydzielana podczas rozpadu promienio-

rozpad neutronu wewnątrz jądra. Jądro po rozpadzie będzie miało jeden neutron mniej i jeden proton więcej. W naturze zawsze znajdują się wolne elektrony i jeden z nich przyłączy się do atomu. Rezultatem tego procesu jest powstanie nowego pierwiastka z jednym więcej elektronem na orbicie.

Rozpad γ jest wynikiem przetasowania neutronów i protonów wewnątrz jądra. Nie prowadzi to do przemiany jednego pierwiastka w inny.

593 Uran-238 ulega rozpadowi, emitując cząstki α . Uran-238 ma 238 nukleonów, spośród których 92 to protony. Emitując cząstkę α składającą się z dwóch protonów i dwóch neutronów, tworzy jądro o 234 ($238 - 4$) nukleonach. Jądro to ma 90 protonów. Jest to więc pierwiastek tor.

594 Historia pierwiastka promieniotwórczego rzadko kończy się pojedynczym aktem rozpadu, ponieważ powstające w wyniku pierwszego rozpadu jądro najczęściej jest również pro-

mieniotwórcze. Tak więc następstwem początkowego rozpadu jest powstanie pierwiastka, który też się rozpada, z niego powstaje kolejny pierwiastek, który również się rozpada itd. Ten ciąg zdarzeń jest nazywany szeregiem promieniotwórczym. Kolejne przemiany w szeregu następują dopóty, dopóki nie powstanie jądro trwałe. Konsekwencją tego łańcucha samorzutnych przemian jądrowych jest to, że czysta próbka pierwiastka promieniotwórczego szybko się staje mieszaniną tego pierwiastka z innymi pierwiastkami. Uran-238 ulega przemianie w tor. Tor, po rozpadzie β , przechodzi w pierwiastek nazywany protaktynem, który również ulega rozpadowi β . Proces kolejnych rozpadów kończy się na ołowiu Pb-208.

595 Wśród Amerykanów rośnie świadomość zagrożenia radonem gromadzącym się w ich domach. Jest to jeden z pierwiastków szeregu promieniotwórczego prowadzącego od uranu do ołowiu. Produkowany jest w sposób ciągły przez rozpady promieniotwórcze zachodzące w głębi Ziemi. Utworzony atom

radonu, zgodnie ze swą chemiczną naturą, nie wiąże się z innymi pierwiastkami, lecz jako gaz przesącza się przez skały pod fundamenty i do suterenu domów.

uran-238	4,6 miliarda lat
węgiel-14	5730 lat
radon-222	3,8 doby
węgiel-10	19,4 sekundy

598 Materiały promieniotwórcze są „gorące” w podwójnym znaczeniu: po pierwsze emitują promieniowanie, po drugie mają wyższą temperaturę niż otoczenie. Można zrozumieć, dlaczego tak jest, jeśli się prześledzi los cząstki α po jej wyemitowaniu w procesie rozpadu. Cząstka α będzie się przemieszczała w otaczającym ją materiale, ulegając częstym zderzeniom (podobnie jak kulka w automatach do gry). W wyniku tych zderzeń początkowa energia cząstki α rozdzieli się między atomy otaczającego ją materiału. Atomy te będą dzięki temu poruszały się szybciej. Stąd każdy materiał zawierający pierwiastki promieniotwórcze będzie przez nie ogrzewany.

Sądzi się, że ciepło generowane przez promieniotwórczość ma znaczący udział w tektonice płyt. Wydzielanie ciepła przez materiały promieniotwórcze jest również poważnym problemem w przechowywaniu odpadów radioaktywnych (promieniotwórczych), które muszą być szczelnie zapakowane. Materiały, z któ-

596 Promieniotwórcze jądra pierwiastków nie rozpadają się wszystkie naraz. Upływ czasu między dwoma rozpadami wydaje się przypadkowy. Obserwowanie rozpadów jąder przypomina trochę przyglądanie się prażeniu kukurydzy, której ziarna podskakują i pękają w różnych odstępach czasu. Wielkością, używaną zwykle jako miara szybkości, z jaką rozpadają się jądra, jest tzw. okres połowicznego zaniku. Definiuje się go jako czas potrzebny na rozpad połowy jąder w próbce danego materiału. Jeśli więc na początku doświadczenia masz 1000 atomów, to po czasie równym okresowi połowicznego zaniku będziesz miał ich tylko 500.

597 Okres połowicznego zaniku izotopów promieniotwórczych może mieścić się w przedziale od miliardów lat do mikrosekund. Oto kilka przykładów:

rych są wykonane te opakowania, nie mogą się stopić podczas długiego okresu składowania.

599 Promieniotwórczość nie jest czymś nienaturalnym. Ponieważ ludzie dopiero od niedawna wiedzą o istnieniu promieniotwórczości, wielu z nich sądzi, że promieniowanie jądrowe jest czymś nowym w ich środowisku. W rzeczywistości ludzkość żyje i rozwija się od początku świata w środowisku wypełnionym tym promieniowaniem. Uran, który ulega rozpadowi promieniotwórczemu, jest pospolitym pierwiastkiem w skorupie ziemskiej. Występuje częściej niż srebro czy rtęć. Łańcuch rozpadów inicjowanych przez uran (patrz wyżej) wypełnia ziemię jądrami promieniotwórczymi. Kiedy więc czytasz o radioaktywności gdzieś odkrytej, musisz pamiętać, że w większości miejsc materiały radioaktywne są stale obecne, i nie powinienś zadawać pytania: „Czy to jest promieniotwórcze?” Warto natomiast dowiedzieć się, czy jest to bardziej radioaktywne niż zazwyczaj.

600 Ziemia jest cały czas bombardowana przez promieniowanie kosmiczne składające się w większości z protonów. Promieniowanie to powstaje w Słońcu i innych gwiazdach i nieustannie wpada w atmosferę Ziemi. W atmosferze zderza się z cząsteczkami powietrza, tworząc „ulewę” cząstek elementarnych. W tej chwili takie cząstki przechodzą przez twoje ciało w liczbie kilku w ciągu minuty i dodają się do poziomu promieniowania naturalnego Ziemi.

601 Cała energia jądrowa pochodzi z ubytku masy. Każda zmiana stanu jądra powoduje małą zmianę jego masy. Jeżeli suma mas po zakończeniu przemiany jest mniejsza niż przed przemianą, tak jak w procesie rozpadu (patrz wyżej), różnica mas ulegnie przemianie w energię.

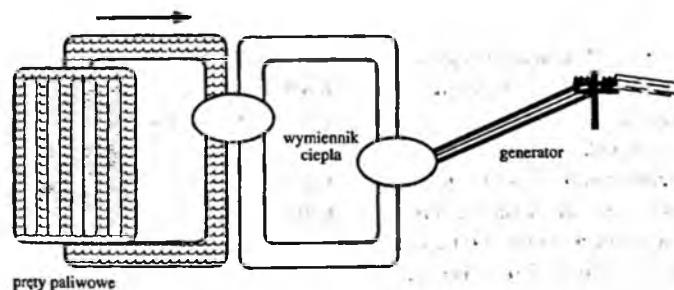
Istnieją dwa procesy (inne niż rozpady α , β i γ), które wiąże się zwykle z terminem „energia jądrowa”. Są to: rozszczepienie jądra i reakcja syntezy jądrowej (synteza termojądrowa).

602 Rozszczepienie jądra jest procesem podziału dużego jądra na dwa (lub więcej) jądra

mniejsze. Rozszczepieniu niektórych jąder towarzyszy wydzielanie się energii. Aby spowodować rozszczepienie innych, trzeba energię dostarczyć. Najlepiej znanym procesem, w którym energia się uwalnia, jest rozszczepienie uranu-235. Uran ten, bombardowany powolnymi neutronami, rozszczepia się. Wydziela się przy tym energia w formie energii ruchu fragmentów, które powstały z rozszczepienia. Wśród nich znajdują się również nowo powstałe neutrony. Każdy z nich może spowodować rozszczepienie następnego jądra. Wynikiem tego procesu jest wydzielanie się energii tak długo, na jak długo wystarczy uranu-235.

603 W wielu państwach znaczna część energii elektrycznej jest wytwarzana za po-

mocą reaktorów jądrowych. Reaktor działa w następujący sposób. Uran znajduje się w prętach paliwowych o przekroju mniej więcej ołówka. Neutrony, które powstają w reakcji rozszczepienia, opuszczają swój macierzysty pręt i są spowalniane przez wodę wypełniającą przestrzeń między prętami. Po spowolnieniu neutrony te mogą zapoczątkować reakcję rozszczepienia w innym pręcie. Wynikiem wszystkich tych reakcji jest ogrzanie wody, którą wyprowadza się rurami na zewnątrz reaktora. Woda ta, krążąc w obiegu zamkniętym, przepływa przez wymiennik ciepła, oddaje w nim ciepło i wraca do reaktora. Drugi obieg wody odbiera ciepło od pierwszego i w postaci strumienia pary wodnej napędza generator produkujący energię elektryczną.



Reaktor, w którym zachodzi rozszczepienie.

604 Reakcja syntezy jądrowej jest procesem, w którym z dwóch mniejszych jąder tworzy się jedno większe. Najważniejszą reakcją syntezy jest tworzenie się helu z wodoru. Reakcja ta stanowi źródło zasilania w energię dla Słońca i gwiazd. Tę właśnie reakcję uczeni próbują ujarzmić w swych laboratoriach, tak żeby można jej było użyć do produkowania energii elektrycznej.

605 Próby ujarzmienia reakcji syntezy jądrowej zaczęły się od odtworzenia warunków,

w jakich zachodzi ona we wnętrzu gwiazd. Podejmowano próby ogrzewania wodoru i poddawania go wysokiemu ciśnieniu przez sprężanie go w polu magnetycznym tak długo, aż rozpocznie się synteza. Proces ten nazywano gorącą syntezą. Na tej drodze wciąż jeszcze nie uzyskano wydajnej samorzutnej kontrolowanej reakcji syntezy jądrowej.

W 1989 r. doniesiono o odkryciu metody zimnej syntezy jądrowej. Porzucono ją jednak, gdy nic powiodły się próby odtworzenia doświadczenia w innych laboratoriach.

Optyka kwantowa

606 Nowoczesna optyka jest optyką kwantową. W latach pięćdziesiątych fizycy uważali optykę za zamierającą dziedzinę badań. Wydawało się, że szanse na jakieś istotne odkrycia naukowe w tej dziedzinie wiedzy są raczej nikłe. Stopniowo optyka wypadła z programów uniwersyteckich.

Sytuacja zmieniła się wraz z wynalezieniem lasera (patrz niżej). Aparatura badawcza nowoczesnej optyki zależy głównie od kwantowych własności światła i dlatego optykę tę nazywa się optyką kwantową, w odróżnieniu od optyki klasycznej, w której światło było traktowane wyłącznie jako fala.

607 Laser jest skrótem od pierwszych liter nazwy **Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation** (wzmocnienie światła przez wymuszoną emisję promieniowania). Zasada działania lasera jest następująca. Zaczniemy od układu, w którym wiele atomów ma elektrony w stanie wzbudzonym. Kiedy w układzie tym pojawi się foton, którego energia jest dokładnie taka sama jak różnica energii między dozwolonymi stanami elektronowymi w atomie, to obecność tego fotonu wymusi przejście elektronów ze stanu wzbudzonego do stanu o najniższej energii. Wiąże się to z emisją nowego fotonu, który będzie miał taką samą energię jak ten pierwszy. Drugi foton także wymusi emisję z następnego atomu. W wyniku tych procesów pojedynczy foton spowoduje powstanie w materiale strumienia identycznych fotonów.

Na każdym z obu końców zbioru atomów umieszcza się zestaw zwierciadeł równoległych. Fotony uderzają w te zwierciadła i po odbiciu od nich odbywają w materiale drogę powrotną. W ten sposób każdy foton przebiega przez materiał tam i z powrotem wielokrotnie, ulegając

na swej drodze wielokrotnemu wzmocnieniu. Jest przy tym ważne, że wewnątrz lasera pozostają tylko te fotony, które poruszają się prostopadle do zwierciadeł. Każdy foton, który uderzy w zwierciadło pod niewłaściwym kątem, odbije się kilka razy i opuści laser przez boczne ścianki.

Wynikiem końcowym tego procesu jest powstanie wewnątrz lasera strumienia równoległych fotonów. Podczas każdego zderzenia ze zwierciadłem pewna liczba fotonów przedostaje się na zewnątrz i właśnie ten „przeciek” staje się promieniem lasera.

608 Lasery wymagają „pompowania”. Kiedy nastąpi emisja fotonów na zewnątrz urządzenia, tak jak to opisano powyżej, układ musi otrzymać energię, aby elektrony znów znalazły się w stanie wzbudzonym.

Można to zrealizować na kilka sposobów. Laser może być ogrzewany – atomy otrzymują wtedy dodatkową energię przez zderzenia. Można także wprowadzić światło z innego źródła – w pewnych typach laserów jest to lampa będąca odpowiednikiem lampy błyskowej w aparacie fotograficznym. Obecnie nie należy do rzad-

kości użycie jednego lasera do „pompowania” drugiego. Niezależnie od tego, która z metod pompowania zostanie użyta, laser będzie wymagał ciągłego dostarczania energii.

609 Lasery mają wiele zastosowań. W latach sześćdziesiątych były to egzotyczne urządzenia konstruowane przez uczonych w laboratoriach, przeznaczone do badań podstawowych nad strukturą atomów. Dzisiaj lasery są używane wszędzie, między innymi w medycynie (np. jako narzędzia chirurgiczne), w miernictwie i w przemyśle. Spotyka się nawet zupełnie błahie zastosowania – często podczas odczytów dostaje do ręki laser, aby wskazywać nim odpowiednie miejsca na slajdach. Jest to najlepszy z przykładów, jak pozornie bezużyteczna dziedzina badań podstawowych może w znaczący sposób wpłynąć na gospodarkę.

610 Laserami o największej mocy są lasery impulsowe. Osiągają moc nawet do około jednego miliona megawatów.

611 Światłowód może spowodować zakręcanie światła. Kiedy światło przechodzi z ośrodka o większej gęstości optycznej do ośrodka o mniejszej (np. ze szkła do powietrza), to zjawisko załamania przybiera niezwykle obrót. Jeżeli światło padnie na powierzchnię graniczną między dwoma takimi ośrodkami pod kątem większym niż tzw. kąt graniczny, to nie wydostanie się wcale do powietrza, lecz odbije się i wróci do ośrodka, z którego przyszło. Zjawisko to nazywane jest całkowitym odbiciem wewnętrznym.

Światło, wprowadzone do wnętrza szklanego cylindra pod właściwym kątem, nie może się z niego wydostać, ponieważ za każdym razem, gdy pada na jego ściankę, odbija się i wraca do szkła. Światło jest uwięzione i może odbywać swoją drogę wyłącznie wzdłuż cylindra. Nie wydostanie się przez boczne ścianki nawet wtedy, gdy ten szklany cylinder jest włóknem wielokrotnie skręconym i powiązanym w supły. Powyżej opisane zachowanie światła dało początek nowej gałęzi techniki, tzn. optyki cienkich włókien, inaczej światłowodów.

612 Za pomocą światłowodów można otrzymać obraz. Obraz na ekranie telewizora powstaje z bardzo wielu czarno-białych lub kolorowych punktów, które w naszym oku zlewają się w normalny obraz. Światłowody mogą działać podobnie. Duża liczba cienkich włókien stanowi wiązkę. Światło od obiektu pada na jeden koniec wiązki i ta część światła, która wpada do każdego z włókien, przemieszcza się bez zakłóceń na jego drugi koniec. W ten sposób na odległym końcu wiązki światłowodów pokazuje się szereg punktów świetlnych, zlewających się w naszym oku w obraz obiektu.

613 Możliwe, że zetkniesz się ze światłowodami w szpitalu. Dawniej, aby zobaczyć, co się dzieje w bolącym kolanie, chirurg musiał je przeciąć. Teraz wystarczy małe nacięcie, w które wprowadza się rurkę o średnicy ołówka. Rurka zawiera źródło światła i wiązkę światłowodów. Obraz wnętrza jest przeniesiony przez światłowód przetworzony na obraz telewizyjny. W ten sposób chirurg może obejrzeć wnętrze kolana bez dokonania rozległego cięcia. Światłowody są często stosowane łącznie z zestawem

miniaturowych narzędzi, które mogą być wprowadzone przez tę samą rurkę co wiązka światłowodów. Narzędziami tymi manipuluje się z zewnątrz.

614 Gdy czytasz o operacji lętkotki przeprowadzonej za pomocą mikrochirurgii ortopedycznej, to z pewnością przeprowadzono zabieg za pomocą światłowodów i zminiaturyzowanych narzędzi. Kolano jest wyleczone bez otwierania i pacjent, wprawdzie kulejąc, może chodzić już następnego dnia, a w ciągu paru tygodni wróci do pełnej aktywności.

615 Światłowody są stosowane w łączności. Dawniej, kiedy rozmawiałeś przez telefon, twój głos był przetwarzany na sygnał elektryczny i przesyłany zwykłymi przewodami miedzianymi. Takie przewody nie mogły przekazać zbyt wielu sygnałów jednocześnie. Teraz twój głos może być przetworzony na sygnał przenoszony przez światło w systemie światłowodowym. Ponieważ długość fali światła jest

bardzo mała w porównaniu z długością fali zwyczajnych sygnałów elektrycznych, liczba informacji przenoszona przez kabel światłowodowy może być wielokrotnie większa. Obecnie w Stanach Zjednoczonych, zwłaszcza na wschodnim wybrzeżu, więcej połączeń między głównymi miastami realizuje się za pomocą kabli światłowodowych niż przez prze-

wody miedziane lub połączenia satelitarne.

616 W 1989 r. położono na dnie oceanu pierwszy transatlantycki kabel światłowodowy. Rozmowy między Stanami Zjednoczonymi a Europą odbywają się teraz tą drogą.

Cząstki elementarne

617 Odkryto setki cząstek elementarnych. Zwykle wyobrażamy sobie jądro jako statyczny zbiór protonów i neutronów. W rzeczywistości jest to miejsce, gdzie odbywa się wieczny ruch. Wszystkie rodzaje cząstek przemieszczają się wkoło, zderzając się ze sobą. Tworzą się na nowo i niszczą, kiedy ich energia przekształca się w masę i ich masa przekształca się w energię. Odkrycie i usystematyzowanie wszystkich tych cząstek, które żyją ulotnym życiem wewnątrz jądra, było głównym zadaniem fizyki cząstek elementarnych. Po-

cząwszy od lat pięćdziesiątych, odkryto ponad dwieście tych cząstek.

618 Sprawdzanie „elementarności” cząstek przypomina obieranie cebuli. Przez ostatnie dwa wieki zdejmowaliśmy jedną warstwę struktury „elementarnej” po drugiej, zawsze znajdując pod nią następną strukturę. Najpierw zesłaliśmy w dół do atomu. Potem rozbiliśmy atom i okazało się, że jest on zbudowany z cząstek elementarnych. Dziś uważamy, że te z nich, które tworzą jądro atomu, są

zbudowane z kwarków. Powstaje pytanie, czy dotarliśmy do wnętrza tej cebuli, czy też jest jeszcze dużo warstw do odkrycia.

619 Fizyka cząstek elementarnych jest uprawiana za pomocą akceleratorów, czyli „przyspieszaczy” cząstek elementarnych lub zjonizowanych atomów. Są to urządzenia, w których elektrony, albo protony, mogą być rozpędzane nawet do prędkości bliskich prędkości światła i dopiero wtedy skierowane na wybrany cel. Mogą nim być inne cząstki elementarne lub jądra atomowe.

620 SSC (Superconducting Supercollider) miał być największym akceleratorem świata. Jego budowę jednak wstrzymano. Na razie największymi akceleratorami cząstek są Fermi National Accelerator Laboratory, zlokalizowany pod Chicago, i urządzenie w Europejskim Centrum Badań Jądrowych (CERN) w Genewie w Szwajcarii. SSC miał być monstrualnym urządzeniem, o średnicy ponad 80 km, zlokalizowanym na południe od Dallas. Koszty jego budowy szacowano na blisko 8 miliardów dolarów. Miał być tak duży, że

wewnątrz jego obwodu zmieściłoby się sporej wielkości miasto. Urządzenie to miało służyć do badania unifikacji oddziaływań fundamentalnych.

621 Wyróżnia się dwa podstawowe rodzaje cząstek elementarnych: cząstki znajdujące się wewnątrz jądra i cząstki, które istnieją poza nim. Cząstki we wnętrzu jądra, takie jak protony i neutrony, są nazywane hadronami (od greckiego słowa oznaczającego „silny”). Cząstki istniejące poza jądrem to leptony (od greckiego słowa oznaczającego „słaby”). Przykładem leptonów są elektrony.

Tajemnica

622 Dlaczego istnieją dodatkowe leptony? Oprócz elektronów istnieją jeszcze dwie inne cząstki podobne do elektronu, tylko cięższe od niego. Oznacza się je symbolami μ i τ . Dlaczego natura, stworzywszy elektron, zadała sobie trud powtarzania tego aktu jeszcze dwukrotnie? – jest to jedno z zasadniczych pytań fizyki.

623 Istnieją trzy rodzaje leptonów zwanych neutrinoami. Cząstki te nie mają masy ani ładunku i poruszają się z prędkością światła. Jeden ze studentów zapytał mnie kiedyś: „Jeżeli one nic nie ważą i nic nie robią, to skąd wiadomo, że istnieją?” Dobrze pytanie. Ściśle mówiąc, istnienie neutrino było postulowane już w latach trzydziestych, lecz potwierdzone zostało dopiero w latach pięćdziesiątych, kiedy zarejestrowano ich oddziaływania (bardzo rzadkie) ze zwykłą materią.

624 Hadrony są zbudowane z kwarków. W 1964 r. dwaj naukowcy, Murray Gell-Mann i Fred Zweig z Caltech, sugerowali, niezależnie od siebie, że cząstki elementarne wcale nie są „elementarne”, lecz są zbudowane ze składników jeszcze bardziej elementarnych. Sądziли wtedy, że są trzy takie składniki, i nazwali je kwarkami. Nazwę zaczerpnięto z książki Jamesa Joyce’a *Finnegan’s Wake*. Obecnie wiemy, że kwarków jest sześć, a nie trzy. Nazwy mają fantazyjne: górny, dolny, dziwny, powabny, spodni i wierzchni (dwa ostatnie kwarki nazywane są czasem: piękny i prawdziwy).

625 Nikt nigdy nie widział kwarka, chociaż szukano ich wszędzie. W latach sześćdziesiątych stanowiło to dowód przeciwko teorii kwarków. Dzisiaj teoretycy, z ich zwykłą pewnością siebie, obrócili konieczność w cnotę i stworzyli teorię, według której nie należy się spodziewać, że kwarki kiedykolwiek dadzą się zaobserwować. Sedno tej teorii stanowi następująca idea: kwarki są zamknięte w cząstkach, każda próba ich rozzerwania prowadzić będzie do otrzymania kolejnych cząstek. Wygląda to niemal tak, jakby kwarki były końcami gumowej taśmy. Jeżeli rozciągniesz gumę i przerwiesz ją, otrzymasz dwie krótkie taśmy gumowe, a nie jeden koniec tej taśmy.

626 Wszystko jest zbudowane z kwarków i leptonów. Najpierw trzeba złączyć ze sobą kwarki, aby otrzymać nukleony. Następnie należy połączyć ze sobą nukleony, żeby otrzymać jądro. Później trzeba umieścić elektrony na ich orbitach w celu skompletowania atomu. W końcu należy połączyć ze sobą atomy, by otrzymać wszystkie substancje we Wszechświecie.

Wielu fizyków uważa, że wraz z kwarkami i leptonami odkryliśmy podstawowe składniki budowy materii. Kilku buntowników twierdzi jednak, że kwarki także nie są „elementarne”, lecz są zbudowane z jeszcze innych składników, które oni nazywają preonami.

Tajemnica

627 Dlaczego jest tyle samo kwarków co leptonów? Kwarków jest sześć i leptonów także sześć (elektron, μ , τ i trzy neutrino). Większość nowoczesnych teorii włącza ten fakt jako podstawowe „dane” Wszechświata, lecz nikt nie wie, dlaczego tych cząstek jest akurat po sześć i dlaczego jednych jest tyle samo co drugich.

628 Na oznaczenie ponad dwustu cząstek elementarnych używa się wielu różnych terminów. Kilka z nich jest omówionych poniżej.

Fermion — cząstka, która ma spin połówkowy (stanowiący $1/2$, $3/2$, $5/2$... część jednostki podstawowej). Fermionami są protony, elektrony i kwarki.

Fermiony stanowią cegiełki, z których jest zbudowana materia.

Bozon — cząstka, której spin jest liczbą całkowitą (0 lub 1, lub 2... jednostki podstawowej). Bozony uczestniczą w generowaniu sił wiążących materię.

Barion — cząstka zbudowana z trzech kwarków.

Mezon — cząstka składająca się z dwóch kwarków.

629 Istnieją cztery oddziaływania podstawowe. Poniżej podane są w kolejności od najsilniejszego do najsłabszego. Silne — wiążące cząstki wewnątrz jądra. Na głębszym poziomie oddziaływania te wiążą ze sobą kwarki wewnątrz cząstek. Elektromagnetyczne — między ładunkami elektrycznymi i magnesami.

Słabe — odpowiedzialne za niektóre procesy rozpadu promieniotwórczego. Jednym z przykładów jest rozpad β neutronu. Grawitacyjne — siła przyciągania, z jaką jeden fragment materii działa na drugi.

630 Choć te cztery oddziaływania wydają się bardzo różne, fizycy uważają je za

różne postaci jednego oddziaływania fundamentalnego. Kiedy siły (jak elektryczność i magnetyzm) są traktowane jak jedna siła, mówimy, że nastąpiła unifikacja, i teorie, które ujawniają tę podstawową jedność, nazywamy teoriami unifikacji pól. Akcelerator w CERN (patrz wyżej) już ujawnił, że oddziaływania słabe i elektromagnetyczne podlegają unifikacji przy energiach, które można osiągnąć w naszych laboratoriach. Przy takich energiach, jakie są uzyskiwane w tym urządzeniu, znikają różnice między oddziaływaniami elektromagnetycznymi i słabymi. Oczekujemy, że przy jeszcze większych energiach nastąpi unifikacja oddziaływań silnych z poprzednimi dwoma i w końcu wszystkie cztery oddziaływania będą podlegały unifikacji.

631 Najlepsza obecnie teoria cząstek elementarnych nosi nazwę modelu standardowego. Powstała w latach siedemdziesiątych. Opisuje unifikację oddziaływań słabych i elektromagnetycznych w świecie, w którym występuje sześć kwarków i sześć leptonów. Oddziaływania te, po unifikacji, noszą nazwę elektro-słabych. Model standardowy po-

twierdzono doświadczalnie w laboratoriach akceleratorowych.

632 Wielka teoria unifikacji (GUT – Grand Unified Theory) i teoria wszystkiego (TOE – Theory of Everything) są obecnie kierunkami najbardziej przyszłościowymi we współczesnej fizyce cząstek elementarnych. GUT jest to nazwa nadana teoriiom opisującym unifikację oddziaływań silnych i elektro-słabych. Różne wersje GUT osiągnęły kilka sukcesów doświadczalnych, lecz poniosły porażkę w jednym ważnym punkcie. Przewidywały, że proton, dotychczas uważany za stabilny, będzie się rozpadał z okresem połowicznego zaniku o wiele rzędów wielkości dłuższym niż czas życia Wszechświata. Rozpadu tego nie zaobserwowano. GUT znajduje się więc ciągle w stadium sprawdzania.

Fizycy badający cząstki elementarne próbują stworzyć teorię, według której unifikacji będą podlegały wszystkie cztery oddziaływania. Zgodnie z TOE istniałaby tylko jedna siła działająca między cząstkami. Świat stałby się najprostszym z możliwych – jeden rodzaj oddziaływań i jeden rodzaj cząstek.

Chaos

633 System chaotyczny to taki, w którym stan końcowy jest bardzo wrażliwy na warunki początkowe. Trafnym przykładem systemu chaotycznego jest bystrzyna w potoku. Kiedy w takie miejsce potoku wrzuci się kawałek drewna, wypłynie on za bystrzyną w pewnym szczególnym miejscu. Jeżeli teraz, prawie w tym samym miejscu zostanie wrzucony drugi kawałek drewna, to na ogół wypływa on w miejscu bardzo odległym od pierwszego. Efekt końcowy (pozycja kawałka drewna) jest zatem bardzo wrażliwy na warunki początkowe (miejsce, od którego kawałki drewna zaczynały swoją podróż).

634 Zachowanie systemów chaotycznych nie jest możliwe do przewidzenia, nie jest bowiem możliwe zmierzenie warunków początkowych systemu z wystarczająco dużą dokładnością. Na przykład pozycja kawałka drewna na początku jego podróży może być zmierzona tylko z taką dokładnością, jaką można osiągnąć za pomocą najlepszej linijki. Jeżeli końcowe pozycje

drewna będą bardzo odległe nawet wtedy, gdy pozycje początkowe różniły się od siebie o wartość mniejszą niż margines błęd pomiaru, to nie ma żadnego sposobu przewidzenia, gdzie drewno wypłynie.

Fizycy i pisarze często podkreślają tę cechę systemu, twierdząc, że system chaotyczny jest nieprzewidywalny. Nie twierdzą jednak, że znając dokładnie stan systemu, nie można przewidzieć, gdzie on się znajdzie w jakimś momencie przyszłości – tego rodzaju przewidywania są cały czas opracowywane przez specjalistów od modeli komputerowych. Twierdzą natomiast, że ponieważ nigdy nie będzie można wykonać wystarczająco dokładnych pomiarów stanu początkowego systemów chaotycznych, to ich stany końcowe nigdy nie dadzą się przewidzieć.

635 Pierwszy system chaotyczny został odkryty przez Edwarda Lorenza, specjalistę w dziedzinie meteorologii w MIT (Massachusetts

Institute of Technology), kiedy był zmuszony do przerwania długich komputerowych obliczeń stanu pogody. Zamiast zacząć obliczenia od początku – wprowadził do komputera wyniki pośrednie, które sobie zachował. W ten sposób komputer podjął obliczenia w tym miejscu, w którym przerwał. Otrzymane wyniki wzbudziły wielkie zdziwienie Lorenza, były bowiem bardzo różne od otrzymanych poprzednio, kiedy całe obliczenia zostały wykonane od początku do końca bez przerwy.

Lorenz odkrył, że różnice między dwoma seriami obliczeń powstały wskutek niewielkich różnic w zaokrągleniu liczb podczas normalnej pracy ciągłej w porównaniu z pracą przerwana. Różnice zaokrąglenia liczb znajdowały się na ósmym miejscu po przecinku. Był to pierwszy sygnał, że ważne systemy w naturze mogą być nadzwyczaj wrażliwe na małe zmiany.

636 Głównym narzędziem badania chaosu są komputery. Wiele informacji dotyczących systemów chaotycznych

otrzymano budując modele i śledząc, jak zachowują się one w miarę upływu czasu. Typowy problem badawczy mógłby być na przykład taki. Zapisuje się równanie opisujące system i rozwiązuje je za pomocą komputera. Następnie nieznacznie zmienia się warunki początkowe i obliczenia są powtarzane. Jeżeli otrzymane wyniki ogromnie się różnią, mamy do czynienia z systemem chaotycznym i poddajemy go dalszym, szczegółowszym badaniom.

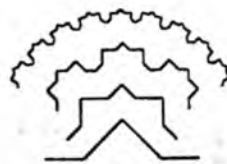
637 Systemy chaotyczne są nieliniowe. Chaos różni się od fizyki, do jakiej przywykliśmy, ponieważ opisujące go równania są nieliniowe. W równaniach liniowych (ten rodzaj równań spotykamy najczęściej w fizyce) jedna wielkość zmienia się wprost proporcjonalnie do innej; na przykład w aparaturze stereo, dwukrotnie przekręcając gałkę, otrzymuje się dwukrotne zwiększenie siły głosu. W systemie nieliniowym ta prosta relacja nie jest zachowana. Przypomina to sytuację, kiedy aparatura stereo nastawiona zostanie zbyt głośno. Pojawiają się wtedy gwizdy, zniekształcenia i inne dziwne dźwięki. Rozwiązanie równań nieliniowych jest trudne i w większości przypadków niemożliwe bez komputerów.

ych jest trudne i w większości przypadków niemożliwe bez komputerów.

638 Fraktale stanowią inny fenomen, który pojawił się w systemach nieliniowych. Słowo „fraktal” jest ściągniętą formą terminu „fractional dimension” (rozmiary ułamkowe).

Fraktale mogą się pojawić w systemach nieliniowych. Poniżej podano przykład fraktalu. Rozpocznijmy od trójkąta, a następnie w środku każdego boku trójkąta narysujmy inny trójkąt. Potem zrobimy to na każdym kawałku linii prostej. Jest oczywiste, że patrząc na każdy fragment tego systemu, na każdym poziomie powiększenia, można zobaczyć dokładnie to samo – prostą linię z trójkątem na niej. Oczywiście jest również, że istnieje związek między wyglądem rzeczy w różnych skalach powiększeń. Właściwie, jeżeli o tym pomyślisz, stwierdzisz, że nie możesz powiedzieć, patrząc tylko na linię, z jakim powiększeniem masz do czynienia.

639 Jak długie jest wybrzeże Anglii? Tym pytaniem Benoit Mandelbrot wprowadził fraktale do fizyki. Przedstawił następujące rozumowanie. Jeżeli spojrzeć na wybrzeże Anglii z punktu widzenia twórcy mapy, otrzyma się określoną jego długość. Spoglądając na nie z samolotu, można zobaczyć małe zatoczki, które nie były zaznaczone na dużej mapie. Idąc wybrzeżem piechotą, znajdzie się nieregularności, które nie były widoczne z samolotu. Jeszcze więcej nieregularności można zobaczyć, patrząc na to wybrzeże pod mikroskopem, aż do poziomu pojedynczych atomów. Nietrudno sobie wyobrazić, że linia brzegowa, jaka powstała podczas każdej z tych operacji, będzie wyglądała podobnie. Tak więc linia brzegowa Anglii jest przykładem geometrii fraktalnej.



Powstawanie fraktalu.

Moja osobista opinia

Chaos był przereklamowany. Głównie dzięki wspaniałej książce Jamesa Gleicka pt. *Chaos* dowiedziano się o istnieniu chaosu i jego znaczeniu dla nauki. Niestety, sądzę, że cała ta dziedzina wiedzy została potraktowana poważniej, niż na to zasługuje. Niektórzy ludzie odnieśli wrażenie, iż jest to wielka rewolucja w naszym myśleniu i zmieni całkowicie sposób

podejścia do problemów fizyki. Są jednak w błędzie. Jest bardzo prawdopodobne, że teoria chaosu dostarczy możliwości wglądu w zjawiska turbulencji i wzrostu systemów ożywionych, ale prawdopodobieństwo, że będzie miała coś do powiedzenia na temat większości zjawisk fizycznych, jest niewielkie. Powód jest prosty – te zjawiska już były badane i wiadomo, że są sympatycznie liniowe i przewidywalne.

Atom

640 Atom jest najmniejszą jednostką ilości materii zachowującą swą identyczność jako pierwiastek chemiczny. Nazwa pochodzi od greckiego słowa oznaczającego „niepodzielny” i została zachowana, mimo że wiemy już, iż atom jest zbudowany z cząstek jeszcze mniejszych. Nowoczesna teoria atomu datuje się od Johna Daltona, angielskiego fizyka (1766–1844), który opublikował w 1808 r. książkę pt. *New System of Chemical Philoso-*

phy. Przedstawił w niej poglądy bardzo podobne do współczesnych. Twierdził, że każdy pierwiastek chemiczny ma inny rodzaj atomów i wszystkie substancje (nazywane dziś związkami chemicznymi) są po prostu różnymi kombinacjami tych atomów.

641 Pierwszy nowoczesny model atomu zaproponował w 1912 r. Niels Bohr, młody duński fizyk. Model ten znamy

jako „model atomu Bohra”. Jego główna idea jest następująca. Elektrony mogą zajmować tylko orbity znajdujące się w ściśle określonych odległościach od jądra. Orbity te zostały nazwane orbitami dozwolonymi lub orbitami Bohra.

Przejsię elektronu z niższej orbity na wyższą wymaga dostarczenia energii, której kosztem zostanie wykonana praca przeciwko sile przyciągania, jaką jądro wywiera na elektron. W odwrotnym przypadku, jeżeli elektron przechodzi z wyższej orbity na niższą, powstaje nadmiar energii, której atom musi się pozbyć.

Należy podkreślić, że różne pierwiastki mają różne orbity Bohra, ponieważ energia elektronu zależy od siły, z jaką na elektron działa jądro i inne elektrony, a obie te siły są inne dla każdego pierwiastka.

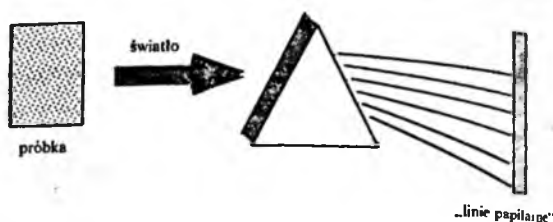
642 Przejsięm z wyższej orbity Bohra na niższą towarzyszy emisja światła. Jeżeli z jakichś powodów elektron znajduje się na wyższej orbicie, to może spontanicznie przeskoczyć w dół na niższą orbitę. Kiedy następuje taki przeskok, różnica energii między początkową a końcową orbitą opuszcza atom

w postaci fotonu. W wyniku tego procesu atom emituje światło i inne formy promieniowania elektromagnetycznego.

643 Kiedy atom absorbuje światło, elektron przechodzi z niższej orbity Bohra na wyższą. Energia fotonu może być zaabsorbowana przez atom i użyta do przeniesienia elektronu z niższej orbity na wyższą.

644 Istnienie orbit Bohra wyjaśnia, dlaczego różne pierwiastki wysyłają światło o różnych barwach. Elektron przenosi się z jednej orbity na drugą, emitując lub absorbując dokładnie określoną ilość energii. To z kolei oznacza, że atom danego pierwiastka jest zdolny do absorbowania i emitowania zawsze tych samych, ściśle określonych ilości energii. Ponieważ energia fotonu jest związana z długością fali, a stąd i z barwą, każdy pierwiastek może emitować i absorbować tylko pewne barwy. Z tego powodu neon świeci na czerwono, a lampy uliczne, w których świecą pary sodu, są żółte.

645 Atom absorbuje to, co emituje. Absorpcja światła przez atom odpowiada prze-



Światło emitowane przez atom to jego „linie papilarne”.

jęciu elektronu w górę między dwiema orbitami, podczas gdy emisja światła o tej samej długości fali odpowiada przejściu elektronu w dół między tymi samymi dwiema orbitami. Różnica energii między dwiema orbitami nie zależy od kierunku skoku kwantowego. Z tego wynika, że jeżeli atom może emitować jakąś barwę, to również musi być zdolny do jej absorbowania.

646 Barwy emitowane przez atomy danego pierwiastka stanowią jego atomowy „odcisk palca”, ponieważ nie ma takich dwóch pierwiastków, które miałyby takie same orbity Bohra. Stało się to podstawą gałęzi nauki zwanej spektroskopią.

Fakt, że każdy pierwiastek emituje i absorbuje inny zestaw

barw, umożliwia zidentyfikowanie jego obecności w małych próbkach materiału. Na rysunku powyżej przedstawiono szkielet urządzenia, które mogłoby służyć do analizy światła pochodzącego z próbki. Różne kolory światła, emitowane przez badaną próbkę, są rozszczepione przez pryzmat, tworząc „odcisk palca” tej próbki na kliszy fotograficznej lub (częściej) w detektorze elektronicznym. Instrument taki nazywany jest spektroskopem. „Odcisk palca” każdego pierwiastka i każdego związku chemicznego jest inny.

647 Spektroskopia pomaga astronomom. Na początku XIX w. Auguste Comte, twórca nowoczesnej socjologii, opublikował listę problemów, które

według niego nigdy nie będą rozwiązane. Analiza składu chemicznego gwiazd zajęła na tej liście wysoką pozycję.

Tymczasem rozwój spektroskopii w XIX w. umożliwił dokonanie właśnie takiej analizy. Obserwując światło emitowane przez gwiazdy, możemy zarejestrować „odciski palców” pierwiastków znajdujących się w gwiazdzie, mimo że odległa jest ona od nas o miliony lat świetlnych i nie dostaniemy z niej nigdy do ręki ani odrobiny materii.

648 Współcześni fizycy przedstawiają dziwny obraz atomu. O kwantowych cząstkach, takich jak elektron, myśli się bardziej w terminach funkcji falowej niż jako o klasycznej cząstce. Elektrony bardziej przypominają drgającą chmurę otaczającą jądro niż planety na orbitach wokół Słońca. Elektrony z największym prawdopodobieństwem znaleźć można w miejscach, w których chmury te są najbardziej zagęszczone.

Mechanika kwantowa

649 Specyfika mechaniki kwantowej. Słowo *quantum* jest pochodzenia łacińskiego i oznacza pewną ściśle określoną ilość. Wielkości fizyczne dotyczące jąder atomowych i cząstek elementarnych, takie jak masa, ładunek elektryczny, energia i pęd, przyjmują tylko pewne określone wartości. Mechanika kwantowa jest gałęzią nauki poświęconą opisowi ruchu obiektów w świecie wewnątrzatomowym.

650 Ludziom mającym do czynienia z mechaniką kwantową najwięcej trudności sprawia podświadome założenie, że obiekty będą się tak samo zachowywać w świecie kwantowym, jak się zachowują w otaczającym nas świecie dużych obiektów. Intuicja wskazująca nam, jak się powinny zachowywać przedmioty, jest oparta na naszym doświadczeniu z dużymi obiektami, które poruszają się z normalnymi prędkościami. Nie

ma jednak powodu oczekiwać, że obiekty bardzo małe lub poruszające się z ogromnymi prędkościami będą się zachowywać podobnie jak te, które znamy.

651 W świecie kwantowym nie można obserwować niczego, nie zmieniając jednocześnie stanu obserwowanego obiektu. W mechanice newtonowskiej zakładamy, że możemy coś obserwować, na przykład kulę bilardową lub Ziemię, nie zmieniając tego obiektu. Założenie to jest usprawiedliwione, ponieważ energia światła, które po odbiciu od kuli bilardowej dociera do naszego oka, jest tak nieskończenie mała, że jesteśmy pewni, iż nie oddziałuje ona na kulę. W świecie kwantowym natomiast jedyną drogą obserwowania elektronu jest doprowadzenie do zderzenia z nim drugiego elektronu lub podobnej cząstki. W procesie tym obserwowany obiekt ulega zmianie.

652 Zasada nieoznaczoności Heisenberga jest częścią mechaniki kwantowej. Niemiecki fizyk Werner Heisenberg pierwszy w pełni zrozumiał ukryte znaczenie natury obserwacji w mechani-

ce kwantowej. Zasada, która nosi jego nazwisko, głosi, że ponieważ obiekty kwantowe nie mogą być obserwowane bez jednoczesnej ich zmiany, nie jest możliwe zmierzenie pewnych wielkości jednocześnie. Na przykład, nie można w tym samym momencie poznać położenia i prędkości danego obiektu. Im dokładniej pozna się wartość położenia, tym mniej pewna staje się jego prędkość i odwrotnie.

Zasada nieoznaczoności Heisenberga jest wyrażona następującym wzorem:

$$\Delta x \cdot \Delta v \geq h/4\pi m$$

gdzie:

Δx – niepewność naszej wiedzy o położeniu cząstki, Δv – niepewność naszej wiedzy o prędkości cząstki, h – wielkość znana jako stała Plancka, m – masa cząstki.

653 Z zasady nieoznaczoności nie wynika, że w świecie kwantowym dokładne pomiary nie są możliwe. Głosi ona po prostu, że jeżeli wybierze się dokładnie zmierzenie jednej wielkości, to trzeba zapłacić za tę wiedzę, porzucając wszelką nadzieję zmierzenia dokładnie innej wielkości. Inaczej mówiąc, jeżeli chcesz znać

dokładnie pozycję cząstki, możesz wykonać to w taki sposób, że Δx (niepewność położenia) będzie równa zero. Zasada nieoznaczoności w tym przypadku spełni się wtedy, gdy Δv (niepewność prędkości) będzie równa nieskończoności – prędkość nie będzie miała w ogóle żadnej wartości. Można też dokładnie zmierzyć położenie obiektu. Można dokładnie zmierzyć prędkość. Można zmierzyć jednocześnie zarówno położenie, jak i prędkość, ale z pewnym kompromisowym poziomem precyzji. Zgodnie z zasadą nieoznaczoności nie sposób z dużą dokładnością zmierzyć jednocześnie obu tych wielkości.

654 Ponieważ obowiązuje zasada nieoznaczoności, fizycy opisują układy kwantowo-mechaniczne w terminach prawdopodobieństwa. Jeżeli na przykład nie wiesz, czy cząstka porusza się z prędkością 3 m/s, czy 6 m/s, to nie jesteś zdolny z bardzo dużą dokładnością przewidzieć, gdzie ta cząstka będzie za dziesięć sekund. Konsekwencją tego jest konieczność opisywania zachowania cząstki w terminach prawdopodobieństwa. Jeżeli idzie o powyższy przykład, możesz powiedzieć, że największe jest prawdopodobieństwo,

iż cząstka znajduje się po dziesięciu sekundach 45 m dalej. Jest także pewna szansa, że przebiegła ona tylko 30 m, a jest również pewna szansa, że przebiegła aż 60 m.

W mechanice kwantowej wszystko jest opisane za pomocą wielkości nazwanej funkcją falową. Jak wskazuje sama nazwa, funkcja falowa jest podobnym do fali opisem elektronu, fotonu lub innej cząstki. Wartość amplitudy funkcji falowej w pewnym punkcie odpowiada prawdopodobieństwu znalezienia cząstki w tym punkcie. Jeśli więc masz funkcję falową z maksimum, z szybko malejącą wartością amplitudy po obu jego stronach, wtedy powiesz, że prawdopodobieństwo znalezienia cząstki w maksimum jest największe, a po obu jego stronach znacznie mniejsze.

655 Albert Einstein był wrogiem mechaniki kwantowej. Większość ludzi wie, że spędził swoje ostatnie lata jako nieprzejednany wróg mechaniki kwantowej, mimo że sam był jednym z wielkich pionierów tej dziedziny wiedzy. Swoją sprzeciw wobec probabilistycznego aspektu me-

chaniki kwantowej podsumował mówiąc: „Bóg nie gra w kości ze światem”. Opowiada się, że Niels Bohr, długoletni przyjaciel Einsteina, tak się zirytował powtarzaniem tego zdania, że kiedyś odparł z przekąsem: „Albercie! Przestań mówić Panu Bogu, co ma robić!”

656 Częsteczki zachowują się jak fale – przykładem może być elektron. Zwykle myślimy o elektronie jak o czymś pokrewnym piłce baseballowej, zlokalizowanym kawałku materii, czyli czymś, co zazwyczaj uważamy za cząstkę. Obserwowano wiele sytuacji, w których elektron zachowywał się jak mały pocisk. Jednak w pewnych okolicznościach elektron może ulegać interferencji i wtedy zachowuje się jak fala. Jeżeli na przykład skieruje się strumień elektronów na przesłonę z dwiema szczelinami, to na ekranie za przesłoną powstaną pasma o dużym i małym natężeniu na przemian, dokładnie takie, jak prążki na ekranie po przejściu światła przez szczeliny. W takich doświadczeniach elektron zachowuje się jak fala.

657 Fale czasami zachowują się jak cząstki. Istnieje aż nadto dowodów na to, że światło jest falą. Z drugiej strony, w zjawisku fotoelektrycznym światło zachowuje się tak jak cząstka. Zjawisko to (wyjaśnione przez Einsteina w 1905 r.) przebiega następująco. Kiedy światło uderza w pewne metale, uwalnia z nich elektrony. Elektrony te wybiegają z metalu bardzo szybko, tak że można to zmierzyć jedynie za pomocą najszybszych nowoczesnych instrumentów elektronicznych. Jedynym sposobem wyjaśnienia tak szybkiej emisji jest założenie, że światło zderzające się z elektronem działa jak kula bilardowa, wyrzucając elektron natychmiast, a nie jak fala, która powoli zdejmuję elektron z atomu.

658 Rozciągłość fotonu związanego ze zwykłym światłem widzialnym wynosi około 90 cm.



Graficzne przedstawienie fotonu.

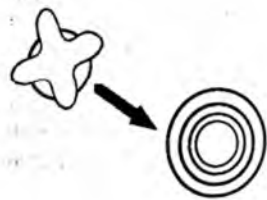
659 Czy dualizm falowo-korpuskularny jest problemem, czy nie? Dość długo fizycy uważali, że wszystko musi być albo cząstką, albo falą. Zachowanie cząstek w świecie kwantowym wprawiało ich w zakłopotanie. Wydawało się, że sposób zachowania, jaki ujawni elektron, zależy od rodzaju przeprowadzanego doświadczenia. Nazwali oni ten problem dualizmem falowo-korpuskularnym. Nie wydaje się, żeby dualizm stanowił problem. Istnienie „paradoksu” mówi nam po prostu, że przyjęliśmy niewłaściwe założenie. Zastosowaliśmy nieadekwatne pojęcia do nowej sytuacji, ponieważ w świecie kwantowym nic nie jest ani cząstką, ani falą. Elektrony i fotony są, czym są – obiektami, które czasami zachowują się jak cząstki, a czasem jak fale i w rzeczywistości stanowią trzeci rodzaj obiektów, których dotąd nie poznaliśmy dokładnie.

W nowoczesnej szybkiej elektronice możliwe jest zaaranżowanie następującej sytuacji. Cząstkę wysyła się do wnętrza przyrządu i podczas gdy ona wciąż jeszcze jest w drodze, decydujemy, czy zostanie przeprowadzony eksperyment „falowy”, czy „korpuskularny”. Decyzję tę podejmuje się

odpowiednio późno, by cząstka nie mogła się „rozmyślić”. Kiedy taki eksperyment zostanie wykonany, otrzymamy wyniki przewidziane przez mechanikę kwantową – zachowanie „falowe” w doświadczeniach falowych i „korpuskularne” – w korpuskularnych. Teoria jest właściwa, lecz jak można wyobrazić sobie elektron, jeżeli zachowuje się tak, jak to zostało opisane?

660 Dualizm falowo-korpuskularny pozwala na wyjaśnienie modelu atomu Bohra. Kiedy model atomu Bohra został przedstawiony po raz pierwszy, istnienie orbit dozwolonych było zagadką. Teraz rozumiemy, że są to jedyne orbity, dla których falo- wy opis elektronu jest zgodny z korpuskularnym. Na orbicie „nie dozwolonej” elektron mógłby być na przykład stabilny, lecz traktowany jako fala nie mieściłby się na niej całkowitą ilość razy. Jeżeli pasowałby do tej orbity na przykład jako fala, lecz jako cząstka poruszał się za szybko, także nie mógłby zostać na tej orbicie. Orbitę dozwoloną otrzymamy tylko wtedy, gdy oba te punkty widzenia są zgodne, tzn. i cząstka jest stabilna, i fala pasuje do or-

bity. Tak więc orbity Bohra są to te orbity, dla których nie stanowi różnicy, czy elektron jest cząstką, czy falą.



Atom Bohra.

661 Pod koniec swojej kariery Albert Einstein wymyślił kilka paradoksów, za pomocą których miał nadzieję udowodnić kolegom, że obrali złą drogę. Jego ostatnia próba walki została podjęta w 1935 r. Wraz z dwoma kolegami zaproponował coś, co teraz nazywa się paradoksem EPR (inicjały pochodzą od nazwisk autorów – Einstein, Podolsky i Rosen).

Paradoks ten jest następujący. Jeżeli jądro rozpadnie się na dwie identyczne cząstki, to muszą one odlecieć w przeciwnie strony. Jeżeli cząstki te wirują i jeżeli ta, która pobięła na prawo, wiruje w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara, to cząstka, która odleciała w lewo, musi wirować

w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara. Co się stanie, jeżeli pozwoli się cząstkom odlecieć daleko od siebie, zanim ich spiny zostaną zmierzone, a potem zmierzy się spin tylko jednej z nich, na przykład tej, która poleciała w prawo? Einstein twierdził, że jeśli okaże się, iż ta cząstka wiruje zgodnie z ruchem wskazówek zegara, to cząstka, która odleciała w lewo, musi wirować w kierunku przeciwnym. Twierdził także, że cząstki te muszą tak właśnie wirować w trakcie całej drogi, niezależnie od tego, czy ich spiny zostaną zmierzone, czy nie (w przeciwieństwie do mechaniki kwantowej, według której ta własność cząstki powstaje dopiero w momencie pomiaru – przyp. tłum.). Miało to dowodzić, że „w rzeczywistości” cząstki mają określone własności cały czas, a zasada nieoznaczoności jest skutkiem naszego braku możliwości zmierzenia tych własności. Einstein głosił, że prawdziwa teoria opisująca świat kwantowy nie będzie musiała niczego wyjaśniać za pomocą prawdopodobieństw.

662 Twierdzenie Bella zamienia spór o realność mechaniki kwantowej w problem możliwy do rozstrzygnięcia przez do-

świadczenie. W 1962 r. szkocki fizyk John Bell wykazał, że można sprawdzić doświadczalnie ideę, na której oparty jest paradoks EPR, śledząc wielkości możliwe do zmierzenia (takie jak zależność między kierunkiem poruszania się cząstki a kierunkiem jej spinu). Wykazał on, że istnieją między tymi wielkościami pewne zależności, które będą spełnione, jeżeli cząstka posiada spin w czasie między jej wyemitowaniem a pomiarem, lecz istnieją także inne zależności spełnione tylko w przypadku, gdy cząstka podczas tego przebiegu musi być opisana za pomocą funkcji falowej (zgodnie z mechaniką kwantową cząstka nie ma określonego spinu w przypadku, gdy nie jest on mierzony).

663 W latach siedemdziesiątych kilka różnych laboratoriów na świecie przeprowadzało doświadczenia, które sugerował Bell. Najbardziej znaczące z nich zostały wykonane w laboratorium Alaina Aspecta w Paryżu. Stwierdzono, że przewidywania mechaniki kwantowej, łącznie z jej probabilistycznymi elektronami i fotonami, były słuszne; elektron nie posiada

określonego spinu, dopóki nie jest on mierzony. Wydaje się zatem, że natura zdecydowała się stworzyć świat kwantowy inny niż ten, do którego przywykliśmy. Może się nam to podobać lub nie, lecz właśnie taki jest stan rzeczy.

664 Jeżeli chcesz uprawiać gry kwantowe, musisz przestrzegać kwantowych reguł. W tym celu trzeba zaakceptować na poziomie intelektualnym fakt, że mechanika kwantowa jest probabilistyczna. Powód, dla którego powinniśmy to zrobić, jest następujący. W głębi naszych serc wierzymy, że elektron naprawdę jest podobny do piłki baseballowej, nawet jeżeli fizycy to kwestionują. Twierdzenie Bella i jego doświadczalne potwierdzenie zmuszają nas do zaakceptowania faktu, że świat kwantowy jest fundamentalnie i nieodwracalnie różny od tego, który znamy. Na poziomie kwantowym mamy do czynienia, poprzez równania matematyczne, z wielkościami, których nie możemy zaobserwować ani nawet wyobrazić ich sobie. Nie da się zaprzeczyć, że jest to dla ludzi trudne do przyjęcia – nawet dla zahartowanych fizyków.

Szczególna i ogólna teoria względności

665 Teorię względności rozumie więcej niż kilkanaście osób, wbrew powszechnemu przekonaniu, że jest inaczej. Szczególna teoria względności jest wykładana na pierwszym i drugim roku amerykańskich uczelni technicznych i college'ów. Podstawy teorii względności są także wykładane na wyższych latach studiów wydziałów humanistycznych. Ogólna teoria względności jest przedmiotem studiów na ostatnich latach wydziałów fizyki i astronomii. Podobnie jak w przypadku wielu innych teorii w nauce – główna idea teorii względności jest prosta, chociaż od czasu do czasu matematyka sprawia trochę trudności.

666 Względność nie ma nic wspólnego z relatywizmem, tzn. z niejasnym stwierdzeniem, że „wszystko jest względne”. W rzeczywistości teoria względności skupia się na tych aspektach świata fizycznego, które nie są względne, tzn. na tych, które nie zmieniają się, kiedy ob-

serwator zmienia swój punkt obserwacji. Mało znanym faktem jest, że Albert Einstein wolał nazywać swoją teorię teorią niezmienników niż teorią względności. Czuł, że termin ten lepiej oddaje jego myśl. Gdyby go posłuchano, moglibyśmy uniknąć zamieszania, jakie towarzyszy teorii względności od jej początków.

667 Zgodnie z zasadą względności – prawa fizyczne są takie same we wszystkich układach odniesienia i niezależnie od tego, w jakim miejscu Wszechświata się znajdujesz, odkryjesz działanie tych samych praw fizycznych. Jest to prawdziwe nawet wtedy, gdy te same zdarzenia wyglądają różnie dla różnych ludzi. Zasada ta głosi, że podstawy fizycznego obrazu świata stanowią prawa przyrody, a nie same zjawiska.

Na przykład, jeżeli stoisz spokojnie, a ktoś przejeżdżający obok ciebie pociągiem rzuci piłkę baseballową, obaj podacie różne

opisy tego, co widzicie. Osoba z pociągu powie, że piłka spadła prosto w dół, ty powiesz, że spadając poruszała się w kierunku ruchu pociągu. Oba opisy zjawiska nie zgadzają się ze sobą i w tym sensie opis spadania piłki jest rzeczywiście względny.

Jeżeli jednak ty i ta druga osoba z pociągu przeprowadzicie liczbę doświadczeń wystarczającą do odkrycia praw rządzących ruchami ciał, to każdy z was odkryje dokładnie te same prawa. Prawa są stałe, a zjawiska względne – to jest główna idea kryjąca się za teorią Einsteina.

668 Szczególna teoria względności i ogólna teoria względności różnią się od siebie. Pierwszą z nich Einstein ogłosił w 1905 r. Według niej prawa przyrody są takie same dla wszystkich obserwatorów, których układy odniesienia poruszają się względem siebie ze stałą prędkością. W poprzednim przykładzie obie osoby, i stojąca na ziemi, i jadąca pociągiem, były takimi obserwatorami, ponieważ pociąg porusza się ze stałą prędkością.

Ogólna teoria względności głosi, że prawa natury są te same dla wszystkich obserwatorów, nawet jeżeli poruszają się względem sie-

bie ruchem przyspieszonym. Tak więc ogólna teoria względności zawiera w sobie szczególną teorię, lecz obejmuje znacznie więcej zjawisk.

669 Teoria względności była najslawniejszym dziełem Einsteina, lecz nie za nią dostał Nagrodę Nobla. Prawdę mówiąc, konserwatyzm środowiska fizyków we wczesnych latach naszego wieku był tak wielki, że przyznano Einsteinowi tę nagrodę za jego prace nad zjawiskiem fotoelektrycznym.

670 Teoria względności nie jest sprzeczna z mechaniką Newtona. Za pomocą obu tych teorii można przewidywać wyniki doświadczeń.

Przewidywania te różnią się od siebie, lecz różnica jest znacząca tylko dla obiektów poruszających się z prędkością bliską prędkości światła. Dla obiektów poruszających się z normalnymi prędkościami przewidywania szczególnej teorii względności i mechaniki Newtona są w istocie identyczne. Z tego powodu mó-

wimy, że szczególna teoria względności zawiera w sobie fizykę Newtona, a nie, że ją zastępuje. Powtarza ona wyniki uzyskane dzięki mechanice Newtona przy małych prędkościach, lecz zjawiska zachodzące z dużymi prędkościami opisuje dokładniej.

671 Zgodnie z teorią względności prędkość światła jest wielkością specjalną. Prędkość ta, oznaczana zwykle literą „c”, odgrywa szczególną rolę w teorii względności, ponieważ jest wbudowana w równania Maxwella. Jest to jedyna prędkość wyróżniona w ten sposób i jedyna, na jaką wszyscy obserwatorzy muszą się zgodzić, jeżeli zasada względności jest zgodna z prawdą.

672 Przewidywania teorii względności nie zgadzają się z naszym codziennym doświadczeniem. Na przykład jeżeli stoisz w wagonie pociągu poruszającego się z prędkością 30 km/h i rzucisz piłkę w kierunku ruchu pociągu z prędkością 20 km/h, oczekujesz, że obserwator stojący na ziemi zobaczy piłkę poruszającą się z prędkością 50 km/h – tzn. prędkością piłki plus prędkość pociągu.

Zamiast tego założmy, że jedziesz pociągiem i wysyłasz promień światła w kierunku jazdy pociągu. Według twoich obserwacji światło porusza się z prędkością 300 000 km/s. Jeżeli zasada względności jest słuszna, to obserwator stojący na ziemi także zmierzy prędkość 300 000 km/s, a nie 300 000 km/s plus 30 km/h. Jeżeli osoba stojąca na ziemi zmierzyłaby inną prędkość niż ty, to równania Maxwella nie mogłyby być takie same dla obu obserwatorów i zasada względności okazałaby się niesłuszna.

Fizycy są skłonni zaakceptować tak dziwną propozycję tylko dlatego, że teoria względności jest tak dobrze potwierdzona eksperymentalnie.

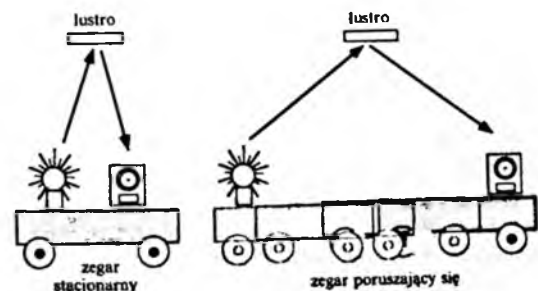
673 Teoria względności głosi, że poruszające się zegary chodzą wolniej. Proponuję wyobrazić sobie zegara, który pracuje tak, jak pokazano na rysunku. Zapala się lampa błyskowa, światło wędruje do zwierciadła, odbija się od niego i jest rejestrowane. Cała ta sekwencja – błysk, odbicie, zarejestrowanie odbitego światła – stanowi jedno „tyknięcie” zegara. Gdybyś obserwował taki zegar umieszczony w wagonie jadącego pociągu, to

droga światła wydałaby ci się podobna do zębów piły, co widać na rysunku. Zanim światło przebiegłoby do zwierciadła i z powrotem, cały aparat przejechałby pewien odcinek drogi w prawo. Światło w zegarze poruszającym się przemieszczałoby się po drogach ukośnych, podczas gdy światło w zegarze pozostającym w spoczynku biegłoby w górę i w dół. Jeżeli w obu przypadkach światło porusza się z tą samą prędkością, jedno „tyknięcie” zegara pozostającego w spoczynku jest krótsze niż jedno „tyknięcie” zegara, który się porusza. Jest to podstawa twierdzenia, że według teorii względności poruszające się zegary chodzą wolniej.

674 Paradoks bliźniąt wcale nie jest paradoksem. Powstał dlatego, że zgodnie z teorią względności, jeżeli jedno z dwóch

identycznych bliźniąt spędzi swoje życie w rakiecie podróżującej z prędkością bliską prędkości światła, to po powrocie na Ziemię będzie młodsze od swego brata. Dziś wiemy, że paradoks bliźniąt jest zjawiskiem realnym (patrz niżej). Innymi słowy, zjawisko to nie powinno być nazywane paradoksem bliźniąt, lecz efektem bliźniąt.

675 Zwalnianie chodu poruszających się zegarów może być sprawdzone doświadczalnie. W 1960 r. grupa naukowców z Uniwersytetu Michigan ustawiła zegary atomowe w samolotach, które leciały w podróż dookoła świata. Kiedy zegary ukończyły swoją podróż, porównano ich wskazania z identycznymi zegarami pozostawionymi w laboratorium. Wynik był następujący: podróżujące zegary „tyknęły”



„Zegar świetlny”.

mniej razy niż pozostawione w laboratorium. Oczywiście są to zegary, które mogą zmierzyć czas z dokładnością do trzynastego miejsca po przecinku, a nie ręczne zegarki, jakimi posługujemy się na co dzień. Jedynie tak dokładne zegary mogły potwierdzić zasadę, że czas jest względny.

676 Oprócz tego, że poruszające się zegary zwalniają, szczególna teoria względności przewiduje, iż długość obiektów poruszających się będzie mniejsza w kierunku ruchu, a także objekty poruszające się będą cięższe niż te, które pozostają w spoczynku, oraz że masa i energia są równoważne.

677 Twierdzenie: „Teoria względności głosi, że nic nie może poruszać się z prędkością większą niż prędkość światła”, jest nie całkiem prawdziwe. Zgodnie z teorią względności, jeżeli zacznie przyspieszać jakiś obiekt, to stanie się on bardziej masywny. Im jego prędkość będzie bliższa prędkości światła, tym obiekt również będzie masywniejszy. Gdyby osiągnął prędkość światła, jego masa stałaby się nieskończenie wielka.

Ponieważ przyspieszenie nie-

skończenie wielkiej masy wymaga nieskończenie wielkiej siły, wniosek, że obiekt nigdy nie może osiągnąć prędkości światła, wydaje się słuszny.

W rzeczywistości argument ten znaczy tylko, że nic, co teraz porusza się wolniej niż prędkość światła, nie może być rozpędzone do tej prędkości. Obiektami poruszającymi się z prędkością światła są – z definicji – fotony.

678 Pewni naukowcy sugerują, że może istnieć cała klasa cząstek, które zawsze poruszają się z prędkością większą niż prędkość światła i nie mogą być spowolnione do mniejszych prędkości. Nazywają oni te cząstki tachionami. Poszukiwania tachionów nie zakończyły się sukcesem, więc dotąd nie wiemy, czy one istnieją, czy nie.

Nawiasem mówiąc, specjaliści od tachionów nazywają normalne cząstki tardionami (opieszale – przyp. tłum.).

679 $E = mc^2$. Energia obiektu równa jest jego masie pomnożonej przez prędkość światła podniesioną do kwadratu.

680 Równoważność masy i energii jest dobrze potwierdzona doświadczalnie. Nie wykluczone, że elektryczność w żarówce, której używasz do czytania tej książki, powstała wskutek przekształcenia w reaktorze jądrowym masy w energię. Możesz zatem powiedzieć, że fakt zapalania się światła po przyciśnięciu włącznika jest doświadczalnym sprawdzeniem teorii względności.

Przemianę energii w masę obserwuje się w większości akceleratorów świata, gdy cząstki są przyspieszane do prędkości bliskiej prędkości światła, a następnie doprowadza się do ich zderzenia.

W zderzeniach tych część energii poruszających się cząstek jest przekształcana w masę i powstaje duża liczba cząstek, które nie istniały wcześniej.

681 Ogólna teoria względności jest obecnie najlepszą próbą zbliżenia się do teorii grawitacji. Aparat matematyczny ogólnej teorii względności jest o wiele bardziej złożony niż szczególnej teorii względności. Mimo to wyniki ogólnej teorii względności wynikają z jej postulatów z taką samą bezlitosną logiką, jak w szczególnej teorii względności. Ogólna teoria względności jest obecnie najlepszą teorią grawitacji.

Chemia

682 Chemia jest gałęzią wiedzy, która zajmuje się powstawaniem i własnościami cząsteczek związków chemicznych. Związkami chemicznymi nazywa się te substancje, których cząsteczki zbudowane są co najmniej z dwóch atomów różnych rodzajów. Cząsteczki jednoatomowe

lub składające się z większej liczby atomów tego samego rodzaju tworzą pierwiastki chemiczne.

Chemia zajmuje centralną pozycję wśród nauk przyrodniczych i rozprzestrzenia się na wszystkie inne dziedziny. Badamy na przykład oddziaływanie chemiczne w gwiazdach, minerałach, komór-

kach i w substancjach obecnych w żywych organizmach.

683 Reakcja chemiczna zachodzi wtedy, kiedy atomy łączą się ze sobą. W niektórych reakcjach energia się uwalnia, podczas gdy inne nie zajądą, jeżeli energia nie zostanie im dostarczona. Na przykład ciepło się uwalnia, gdy tlen reaguje z węglem w ognisku, w którym płonie drewno. Nie można natomiast upiec ciasta, nie dostarczając mu energii w formie ciepła. Jeżeli w reakcji energia się uwalnia, jest to reakcja egzotermiczna, jeżeli reakcja potrzebuje energii, to jest ona endotermiczna.

684 Prawie każdy materiał, z jakim stykasz się w życiu codziennym, jest zbudowany z kombinacji atomów, a nie z pojedynczych atomów. Nawet powietrze, którym oddychasz, składa się głównie z cząsteczek tlenu i azotu (każda z nich zbudowana jest z dwóch atomów związanych ze sobą). Ubranie, jakie nosisz, jedzenie, a także twoje ciało składają się z cząsteczek.

685 Wszystkie cząsteczki są utworzone z około stu pierwiastków chemicznych. Kiedy

w XVIII w. rozpoczęto badania chemiczne w nowoczesnej formie, chemicy przekonali się wkrótce, że mogą rozłożyć wszystkie zwyczajne materiały na prostsze składniki. Taka złożona struktura jak drewno może być rozłożona, w wyniku czego otrzyma się węgiel (w formie węgla drzewnego) i różne gazy. Podczas wykonywania takich operacji chemicy odkryli, że istnieje podstawowa jednostka, poniżej której substancja nie może być rozłożona za pomocą technik dostępnych w owym czasie. Te „nierozkładalne” składniki materii zostały nazwane pierwiastkami. Obecnie na liście pierwiastków jest ich ponad sto.

686 Atomy różnych pierwiastków chemicznych różnią się między sobą. Pierwiastki chemiczne różnią się od siebie liczbą protonów w jądrach i liczbą elektronów na orbitach. Jeśli więc atom ma sześć protonów w jądrze i sześć elektronów na orbitach, jest atomem węgla, jeśli ma ich po osiem – atomem tlenu.

687 Skłonność atomu do oddziaływania z innymi atomami zależy od sposobu, w jaki są w nim rozmieszczone elektrony.

Kiedy atomy zbliżają się do siebie, każdy z nich dostrzega najpierw zewnętrzne elektrony partnera. To, czy atomy te zwiążą się ze sobą, czy też nie, zależy od tego, jak są rozmieszczone elektrony na ich orbitach zewnętrznych. Okazuje się więc, że to właśnie elektrony zewnętrzne decydują, czy atom weźmie udział w reakcji chemicznej, czy nie.

Elektrony na zewnętrznych orbitach atomu noszą nazwę elektronów walencyjnych. Inaczej można wyrazić to następująco: własności chemiczne pierwiastków zależą od ich elektronów walencyjnych.

688 Pierwiastki cięższe niż uran zostały stworzone w laboratoriach. Naukowcy dokonali tego w odpowiednio zaplanowanych doświadczeniach. Pierwiastki te są radioaktywne i mają krótkie okresy połowicznego zaniku. Większość pierwiastków z dolnego rzędu układu okresowego została stworzona sztucznie. Podstawową metodą tworzenia nowych pierwiastków jest umieszczenie jądra w akceleratorze, rozpędzenie go i doprowadzenie do zderzenia z innym jądrem. W wyniku takiej reakcji dwa

jądra czasem się połączą, tworząc jądro cięższe, które – mamy nadzieję – zostanie zidentyfikowane, zanim się rozpadnie.

689 Nazwy pierwiastków chemicznych mają różne pochodzenie. Na przykład wodór ma taką nazwę, ponieważ tworzy wodę.

Niektóre pierwiastki otrzymały nazwę od koloru, jaki ich pary nadają płomieniowi palnika gazowego. Ostatnio nadaje się im nazwy od nazwisk sławnych uczonych (einstein, mendelew), a także na przykład od miejsc (berkel od Berkeley w Kalifornii), gdzie pierwiastek został odkryty.

690 W 1982 r. grupa naukowych z Darmstadt w Niemczech odniosła sukces, tworząc jeden atom pierwiastka 106. Jest to najcięższy pierwiastek, jaki znamy. Otrzymano go w ilości zaledwie jednego atomu. [W 1994 r. otrzymano pierwiastki 110 i 111 (przyp. red. nauk.).]

Układ okresowy pierwiastków

691 Układ okresowy pierwiastków został stworzony przez rosyjskiego uczonego Dmitrija Mendelejewa (1834–1907). Zauważył on, że jeżeli pierwiastki będą zestawione według rosnącej masy atomowej, a potem rozmieszczone następująco: dwa pierwiastki w pierwszym rzędzie, osiem w drugim i trzecim, osiemnaście w następnym itd., ujawni się zdumiewająca regularność. Jeżeli tę tablicę będzie się odczytywało kolumnami, to w każdej kolumnie pierwiastki będą miały podobne własności chemiczne. Na przykład pierwiastki z pierwszej kolumny: wodór, lit, sód, potas (i dalsze), są nadzwyczaj aktywne chemicznie – łatwo wchodzi w związki z innymi atomami. W przeciwieństwie do nich pierwiastki z ostatniej kolumny: hel, argon, neon i inne, są bardzo stabilne i niechętnie wchodzi w związki chemiczne.

Kiedy Mendelejew skompletował swoją tablicę, odkrył w niej dwie luki, w których powinny się znaleźć pierwiastki, lecz ich nie było. Luki te odpowiadały pierwiastkom znanym obecnie jako

skand i german. Kiedy pierwiastki te odkryto, wartość tablicy została uznana.

692 Budowa układu okresowego pierwiastków jest odbiciem leżących u jej podstaw praw mechaniki kwantowej. W szczególności budowa ta wydaje się manifestacją zasady znanej jako zakaz Pauliego. Zgodnie z tą zasadą dwa elektrony nie mogą znajdować się w tym samym stanie energetycznym.

Na przykład na orbicie najbliższej jądra są tylko dwa miejsca dostępne dla elektronów. Jeżeli więc chcesz dodać trzeci elektron, nie może się on znaleźć na najniższej orbicie, musi pójść na następną, wyższą. Na drugiej orbicie jest miejsce dla ośmiu elektronów i na kolejnej także. Liczba możliwych do obsadzenia miejsc na orbitach dokładnie odpowiada liczbie pierwiastków w poziomych rzędach układu okresowego. Jeżeli więc wypełniasz elektronami orbity (lub „powłoki” – jest to termin, jakim posługują się chemicy), to po wypełnieniu odpowiedniej powłoki musisz rozpocząć nowy rząd, czyli okres.

Pierwiastki w tej samej kolumnie układu okresowego mają tę samą liczbę elektronów na po-

włocie najbardziej zewnętrznej i dlatego mają podobne własności chemiczne.

Wiązania chemiczne

693 Pierwiastki „lubią” mieć zapelnione powłoki elektronowe, tzn. znajdować się w takiej sytuacji, w której wszystkie orbity są wypełnione. Na przykład sód, mający jeden elektron na ostatniej orbicie znajdującej się na zewnątrz powłok całkowicie wypełnionych, „chce” ten elektron oddać. Chlor, który na ostatniej orbicie ma siedem elektronów, tzn. o jeden mniej niż potrzeba do całkowitego wypełnienia tej orbity, „chce” przyłączyć ten brakujący elektron.

694 Wiązanie jonowe powstaje wtedy, gdy jeden atom pozbywa się elektronu, a drugi przyłącza ten elektron. Na przykład w czasie tworzenia się soli kuchennej (chlorek sodu) sód pozbywa się elektronu, a chlor go przyłącza. Wskutek trwałego przejścia ładunku elektrycznego z jednego atomu do drugiego oba atomy biorące udział w reakcji stają się jonami, tzn. każdy z nich

ma swój własny ładunek elektryczny. Elektrostatyczne przyciąganie się tych dwóch ładunków wiąże atomy ze sobą, a więc także utrzymuje substancję w całości. Powyżej opisany rodzaj połączenia jest nazywany wiązaniem jonowym. Wiązania jonowe występują w związkach nieorganicznych i nadają spistość kryształom.

695 W wiązaniu kowalencyjnym jedna lub więcej par elektronów należą mniej więcej w jednakowym stopniu do obu atomów połączonych tym wiązaniem. Najbardziej pospolitym pierwiastkiem, który tworzy wiązania kowalencyjne, jest węgiel mający cztery elektrony na powłocie kowalencyjnej. Prawie wszystkie wiązania spajające związki organiczne to wiązania kowalencyjne. Występują one także w tkankach twojego ciała.

696 Wiązanie wodorowe jest odmianą wiązania kowalencyjnego. Jego działanie można najlepiej zrozumieć na przykładzie cząsteczki wody, której oba końce są naładowane różnoimiennie. Takie rozmieszczenie ładunków pozwala cząsteczce wody oddziaływać siłami elekt-

rycznymi na inne cząsteczki, chociaż jej sumaryczny ładunek elektryczny jest równy zeru. Właśnie z tego powodu woda tak łatwo przyciąga inne rodzaje cząsteczek, a także stanowi uniwersalny rozpuszczalnik.

697 W metalach wszystkie atomy są ze sobą połączone, przy czym udziałem każdego atomu we wspólnej strukturze jest jeden elektron lub więcej. Elektrony te przemieszczają się swobodnie wewnątrz metalu, a więc metal to układ jonów dodatnich w morzu swobodnych elektronów. Zasadniczo można sobie wyobrazić wiązanie metaliczne jako logiczne rozwinięcie wiązania kowalencyjnego – jest to wiązanie, w którym atomy metalu, zamiast jednej lub kilku par elektronów, posiadają wspólnie wszystkie elektrony.

698 Wiązanie van der Waalsa jest najsłabsze spośród wszystkich wiązań cząsteczkowych. Nazwę otrzymało od nazwiska fizyka holenderskiego Johanna D. van der Waalsa (1857–1918). Wiązanie to powstaje w następujący sposób. Kiedy dwa atomy zbliżają się do siebie, chmura elektronowa jed-

nego z nich odpycha chmurę elektronową drugiego. W wyniku tego przesunięcia względem siebie i wzajemnego zniekształcenia chmur elektronowych powstają między dwoma atomami słabe siły elektryczne.

699 Zależnie od rodzaju wiązania substancje mogą być twarde lub miękkie, elastyczne lub sztywne. Na przykład kryształ soli kuchennej jest twardy i sztywny, ponieważ składa się z jonów sodu i chloru połączonych wiązaniami jonowymi. Można stanąć na skale i nie rozpadnie się ona pod ciężarem, ponieważ działają w niej wiązania jonowe, jedne z najsilniejszych sił międzyatomowych. Można rozkruszyć glinę w rękę, ponieważ siły między przyległymi warstwami cząsteczek w glinie są siłami typu van der Waalsa. Wiele własności materiału można zrozumieć, jeśli się rozważy, w jaki sposób są powiązane jego atomy.

700 Substancja jest ciałem stałym, cieczą lub gazem w zależności od tego, jak oddziałują ze sobą jej cząsteczki. W ciałach stałych oddziaływanie między cząsteczkami utrzymują je w sztywnej strukturze.

W cieczech cząsteczki znajdują się blisko siebie, lecz nie są ze sobą związane – zachowują się jak szklane kulki w torebce. Popchnięcie jednej cząsteczki nie zmusza innych do ruchu.

W gazach cząsteczki znajdują się w dużych odległościach od siebie i poruszają się jak kule bilardowe na stole – czasem się zderzają, lecz oddziałują na siebie tylko w minimalnym stopniu.

701 Plazma może być traktowana jako czwarty stan skupienia materii. Kiedy temperatura gazu jest bardzo wysoka, zderzenia atomów są wystarczająco gwałtowne, by mogło nastąpić oderwanie elektronu od atomu. W wyniku tych zderzeń powstaje gaz składający się z ujemnie naładowanych elektronów swobodnych i jonów dodatnich. Ten stan skupienia materii jest nazywany plazmą. Spotyka się ją między innymi w lampach fluorescencyjnych i w gwiazdach.

Chemia organiczna

702 Początkiem chemii organicznej były badania związków chemicznych występujących w żywych organizmach.

W tamtych czasach chemicy wierzyli, że związki chemiczne znajdujące się w organizmach żywych bardzo się różnią od materii nieożywionej. Ten punkt widzenia zmienił się w XIX w., kiedy z powodzeniem dokonano syntezy bardzo złożonych związków organicznych. Przekonano się, że do materii ożywionej i nieożywionej odnoszą się te same prawa. Terminu „chemia organiczna” używa się obecnie w stosunku do związków zawierających węgiel i wodór niezależnie od tego, czy pochodzą one, czy nie z organizmów żywych. Ten więc, kto podejmie próbę wytworzenia benzyny syntetycznej, zajmuje się chemią organiczną, mimo że materiały wyjściowe, jakich używa do tej syntezy, nie pochodzą z żywych organizmów.

703 Chemia organiczna jest oparta na niezwykłych własnościach węgla, który ma cztery elektrony na zewnętrznej orbicie. Elektrony te mogą wiązać węgiel z innymi atomami za pomocą wiązania kowalencyjnego. Ważność i niezwykłość atomów węgla polega na tym, że tworzą one wiązania ze sobą i w ten sposób mogą powstawać długie łańcuchy. Łańcuchy wę-

lowe stanowią podstawę związków chemicznych, z których są zbudowane wszystkie żywe organizmy na Ziemi.

Dwa atomy węgla mogą utworzyć ze sobą wiązanie albo współniając jedną parę elektronów – powstaje wtedy wiązanie pojedyncze, albo współniając dwie pary elektronów – tworzy się wtedy wiązanie podwójne [lub trzy, co prowadzi do wiązania potrójnego – przyp. red. nauk.]. Oczywiście rodzaj wiązania, jakie tworzy się między węglem a innymi pierwiastkami, zależy od liczby elektronów na zewnętrznej orbicie tych pierwiastków.

704 Najważniejszą cechą chemii organicznej jest trójwymiarowa budowa cząsteczek związków organicznych. Cecha ta decyduje o możliwości „dopasowania” ich do siebie w ściśle geometrycznym sensie, w taki sposób, by między odpowiednimi atomami mogło powstać wiązanie. Dwie cząsteczki zdolne do utworzenia ze sobą wiązania mogą go nie utworzyć, jeżeli nie są względem siebie właściwie zorientowane w przestrzeni. Można wyobrazić sobie cząsteczki jako złożone struktury z umieszczonymi na nich małymi plamkami kleju

– jeżeli ustawienie cząsteczki nie jest właściwe, plamki kleju nie będą się pokrywały i połączenie cząsteczek nie nastąpi.

705 Sposobem przedstawiania struktury związków organicznych za pomocą rysunku rządzą określone reguły. Opracowano je dlatego, że w przypadku, gdy liczba atomów w związku chemicznym przekracza dwadzieścia, trzydzieści lub więcej, można się całkowicie zagubić w szczegółach.

Chemicy używają następującej notacji standardowej.

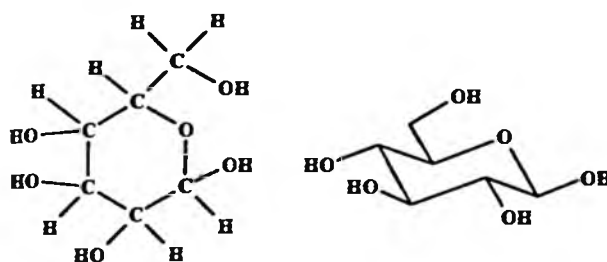
1. Wiązanie jest reprezentowane przez linię prostą.

2. Węgiel nie jest zaznaczony na rysunku w postaci symbolu „C”.

3. Wodór w ogóle nie jest umieszczany na rysunku.

Jeżeli używa się tej notacji, skomplikowane rysunki znacznie się upraszczają. Na przykład na lewym rysunku pokazana jest cząsteczka glukozy (jednego z podstawowych cukrów) ze wszystkimi jej atomami.

Na prawym – ta sama cząsteczka jest przedstawiona zgodnie z podanymi wyżej regułami. Wszystkie rysunki w dalszej części książki są wykonane właśnie w ten sposób.



Dwa sposoby przedstawienia cząsteczki glukozy.

Słowniczek terminów chemicznych

Duża liczba terminów używanych przez chemików sprawia kłopot tym, którzy muszą się chemii nauczyć. W poniższym rozdziale podane są krótkie definicje kilku terminów.

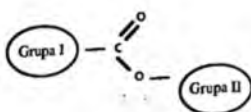
Terminy związków chemicznych

706 Kwas. Związek chemiczny oddający podczas reakcji proton (kation wodoru – przyp. tłum.) innemu związkowi. Kwasy stanowią przeciwieństwo zasad. Bardzo mocne kwasy, jak na przykład kwas w akumulatorze samochodu, są silnie żrące.

707 Zasada. Związek chemiczny zdolny do przyłączenia protonu podczas reakcji chemicznej. Zasada stanowi przeciwieństwo kwasu. Mocne zasady, jak ług, są również silnie żrące.

708 Estry i poliestry. Estry są związkami chemicznymi, w których dwie grupy połączone są wiązaniem estrowym. Estry różnią się między sobą grupami po obu stronach wiązania. Estrom zawdzięczamy wiele zapachów. Na przykład kiedy wąchasz różę, to właśnie jakiś ester działa na twoje powonienie.

W cząsteczce poliestru grupy atomów połączone są wieloma



Ester.

wiązaniami estrowymi. Poliestry wykazują skłonność do tworzenia długich, cienkich włókien i dlatego znalazły szerokie zastosowanie w produkcji sztucznych włókien, takich jak dacron.

709 Polimer. Częsteczką polimeru utworzona jest przez połączenie ze sobą mniejszych cząsteczek. Przyjmuje postać sznura lub bardziej skomplikowane kształty. Przykładami polimerów są: skrobia, celuloza, białka i PCW.

710 Polipeptyd. Polimer, który powstał z połączenia aminokwasów. Powszechnie znanymi polipeptydami są białka.

711 Wiązania nasycone i nienasycone. Mówimy, że związek organiczny jest nienasycony, gdy między jego atomami węgla występuje wiązanie wielokrotne. W tej sytuacji dwa atomy węgla będą dzielić ze sobą dwie pary elektronów lub trzy i jedna

z nich może z łatwością zostać rozdzielona i utworzyć nowe wiązania z obcymi atomami. Związek organiczny, który ma w łańcuchu węglowym więcej niż jedno wiązanie wielokrotne nazywamy wielonienasyconym. Związek organiczny jest nasycony, jeżeli wszystkie wiązania między jego atomami węgla są pojedyncze. W tym przypadku rozzerwanie wiązania, a więc przeprowadzenie reakcji chemicznej, wymaga dostarczenia dużej ilości energii.

Z terminami „nasycony”, „nienasycony” i „wielonienasycony” można się najczęściej spotkać, czytając napisy na etykietach artykułów żywnościowych. Specjaliści od żywienia na ogół utrzymują, że tłuszcze nienasycone i wielonienasycone są zdrowsze niż nasycone.

Na etykietach nierzadko też spotyka się termin „uwodorniony”. Oznacza to, że do związku organicznego, który pierwotnie był nienasycony, dodano wodór w celu zniszczenia wiązania podwójnego. Zwiększa się dzięki temu trwałość produktu, lecz może to pociągać za sobą niepożądane skutki dietetyczne (w wyniku procesu uwodornienia olej jadalny jest przetwarzany w margarynę – przyp. tłum.).

Terminy reakcji chemicznych

712 Katalizator. Substancja chemiczna, która ułatwia przebieg reakcji chemicznej między innymi związkami, lecz sama nie bierze w niej udziału. Jedynym katalizatorem, z jakim można się spotkać w życiu codziennym, jest platyna, która w samochodzie ułatwia usuwanie zanieczyszczeń ze spalin.

Katalizatorami w reakcjach między złożonymi związkami organicznymi są enzymy.

713 Utlenianie. Reakcja, w której związkowi chemicznemu są odbierane elektrony. Najczęściej spotykaną reakcją utleniania jest łączenie się substancji z tlenem (stąd nazwa tej reakcji). Przykładem utleniania może być spalanie drewna.

W dzisiejszych czasach chemicy używają terminu „utlenianie” w szerszym znaczeniu, obejmującym także reakcje, w których tlen nie bierze udziału.

714 Redukcja. W przeciwieństwie do utleniania jest reakcją dostarczania elektronów.

Historycznie termin ten odnosił się do reakcji, w których tlen był usuwany. Podobnie jak utlenianie nazwa „redukcja” jest obecnie używana w szerszym znaczeniu i może odnosić się do reakcji, w których nie uczestniczy ani wodór, ani tlen.

Terminy mieszanin

715 Destylacja. Metoda rozdzielania mieszaniny dwóch cieczy o różnych temperaturach wrzenia (metodą tą można rozdzielać także mieszaniny wielu cieczy – przyp. tłum.). Na przykład ogrzewając mieszaninę alkoholu etylowego i wody do temperatury tuż poniżej 100°C, doprowadzi się do wrzenia. Zawartość alkoholu w parze unoszącej się nad cieczą będzie o wiele większa niż w cieczy. W tym przypadku destylacja została wykorzystana do zwiększenia stężenia alkoholu. Proces destylacji odgrywa ważną rolę w produkcji spirytusu rektyfikowanego.

Ropę naftową także poddaje się procesowi wielokrotnej destylacji, w wyniku której otrzymuje się różne produkty przemysłu naftowego (benzyna, mazut itp.).

716 Stop. Mieszanina dwóch lub więcej metali albo metali z niemetalami. Na przykład mosiądz jest stopem cynku i miedzi.

717 Koloid. Małe drobiny substancji (większe niż cząsteczki) zawieszona w cieczy. Substancja nie jest rozpuszczona

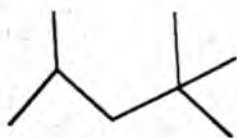
w cieczy, lecz jej cząstki są tak małe, że cały układ zachowuje się jak ciecz.

718 Emulsja. Mieszanina dwóch lub więcej cieczy. Jedna ciecz znajduje się w drugiej w postaci małych kropelek. Przykładem emulsji może być mleko.

Galeria sławnych związków chemicznych

719 Izooktan. Z tym związkiem chemicznym spotykamy się w czasie tankowania paliwa do samochodu. Związek zawiera osiem atomów węgla (stąd „okt”). To, co nazywamy benzyną, jest zwykle mieszaniną wielu różnych związków chemicznych. Kilka z nich, jak zwykły oktan, składa się z prostych łańcuchów węgla, natomiast izooktan ma łańcuch rozgałęziony (co pokazano na rysunku) i jest uważany za najbardziej pożądane paliwo, ponieważ pali się spokojnie. Schemat cząsteczki jest naryso-

wany zgodnie z notacją omówioną w rozdziale *Chemia*.

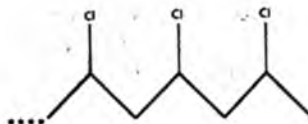


Izooktan.

720 Paliwo składające się wyłącznie z izooktanu ma liczbę oktanową równą 100, podczas gdy paliwo składające się z innego węglowodoru nazywanego heptanem (sie-

dem atomów węgla w łańcuchu prostym) ma liczbę oktanową równą zero i jest bardzo niepożądanym paliwem – powoduje stukanie (spalanie detonacyjne). Paliwo o liczbie oktanowej 90 ma właściwości odpowiadające mieszaninie 90 procent izooktanu i 10 procent heptanu.

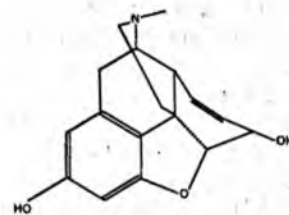
721 Polichlorek winylu (PCW). Podobnie jak wiele innych związków chemicznych posiadających duże cząsteczki polichlorek winylu jest wielocłonowy – to długi łańcuch utworzony z powtarzających się członów. Znajduje szerokie zastosowanie między innymi w produkcji rur wodociągowych i innych części urządzeń hydraulicznych.



Polichlorek winylu.

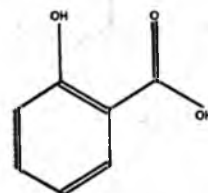
722 Morfina. Oddziałuje na jeden z receptorów komórek nerwowych i uznawana jest za naturalny środek przeciw-

bólowy. Heroina – narkotyk szczególnie łatwo prowadzący do uzależnienia – stanowi pochodną morfiny.



Morfina.

723 Kwas salicylowy. Słaby środek przeciwbólowy. Blokuje powstawanie neuroprzekaznika.

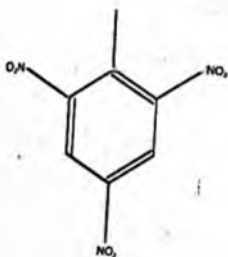


Kwas salicylowy.

Czarne charaktery

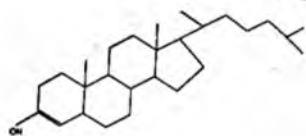
724 Trójnitrotoluen (TNT). Podstawowy materiał wybuchowy stosowany do pro-

dukcji bomb konwencjonalnych. Ma własności wybuchowe, ponieważ atomy tlenu, w trzech grupach zaznaczonych na rysunku, są bliskie uwolnienia. Wystarczy niewielkie pobudzenie, aby ode-rwały się one od cząsteczki i prze-reagowały z częścią atomów wo-doru i węgla. W wyniku tego cząsteczka się spala. Produktami reakcji są dwutlenek węgla i wo-da. Własności wybuchowe TNT wynikają z faktu, że powyższa reakcja rozprzestrzenia się z ogro-mną prędkością w masie materia-łu wybuchowego, dając tzw. falę uderzeniową.



TNT.

725 Cholesterol. Produkowany jest przez orga-nizm i zużywany do budowy błon komórkowych. Zaburzenia jego przemiany są przyczyną miażdży-cy i kamicy żółciowej.



Cholesterol.

Związki chemiczne obecne w naszym pożywieniu

726 Alkohol etylowy. Aktyw-ny składnik napojów al-koholowych. Jego cząsteczka rozpoznawana jest przez rece-ptory komórek nerwowych. Kiedy alkohol zwiąże się z receptorem, utworzy się kanał, przez który alkohol przedostanie się do wnętrza komórki nerwowej. Dlatego dzia-ła na układ nerwowy.

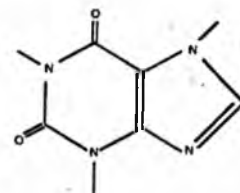
W ten sam sposób oddziałują środki uspokajające i dlatego bardzo niebezpieczne bywa łącze-nie ich z alkoholem.



Alkohol etylowy.

727 Sacharyna. Należy do li-cznej grupy sztucznych środków słodzących. Smak jej

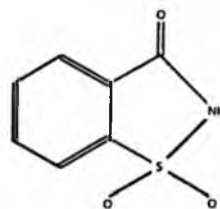
odczuwamy jako słodki, ponie-waż działa na receptory w kub-kach smakowych naszego języka w podobny sposób jak cukier. Nie jest jednak wykorzystywana przez organizm ani jako paliwo, ani jako budulec. Odkryto ją w 1879 r., a zaczęto produkować od początku naszego wieku.



Kofeina.

Związki chemiczne istotne dla procesów biologicznych

729 Glukoza. Naturalny cu-kier dostarczający ener-gii w większości systemów bi-ologicznych. Występuje w dwóch postaciach – jako związek liniowy i jako związek pierścieniowy. Warto zwrócić uwagę na podobieństwo funkcji pełnionych przez glukozę i izooktan będący głównym składnikiem benzyny. Oba związki są paliwami i oba są dla nas ważne, ponieważ dostar-czają energii...



Sacharyna.

728 Kofeina. Środek pobu-dzający obecny w kawie i herbacie. Działanie tej substan-cji na organizm człowieka wiąże się z blokowaniem enzymu ha-mującego produkcję ATP – zwią-zku chemicznego, który jest ma-gazynem energii w komórce. Ko-feina działa więc w ten sposób, że zwiększa się ilość ATP.

Bliska krewna kofeiny, teobro-mina, jest środkiem pobudzają-cym, który znajduje się w czeko-ladzie.

730 Chlorofil. Związek che-miczny, który odgrywa główną rolę w procesie fotosyn-tezy; jemu też liście zawdzięczają zieleni.

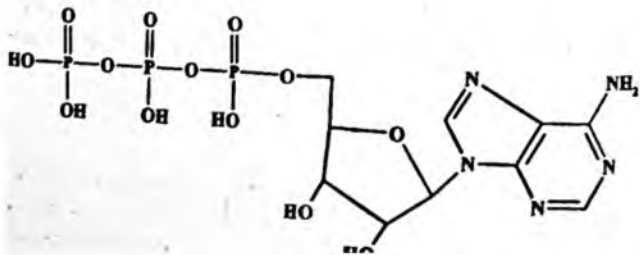
731 Adenozynotrójfosforan (ATP). Związek chemiczny odpowiedzialny za wymianę energii podczas reakcji zachodzących w komórce. Jest zdolny do magazynowania energii, ponieważ przyłączenie reszty fosforanowej, znajdującej się na końcu łańcucha, wymaga dostarczenia energii. Częsteczka ATP powstaje więc po przyłączeniu reszty fosforanowej i pobraniu energii związanej z tym procesem. Częsteczka ATP przemieszcza się do innych części komórki, gdzie następuje odłączenie reszty fosforanowej i uwolnienie energii.

nie mogąc dłużej pobierać energii, sztywnieją. Wyjaśnia to, dlaczego stężenie pośmiertne następuje szybciej, gdy śmierć nastąpiła po walce lub umierający osobnik był w najwyższym stopniu przerażony (w obu przypadkach następuje wyczerpanie zapasów ATP). Ta cecha stężenia pośmiertnego jest dobrze znana miłośnikom zagadek kryminalnych.

Różnice małe, lecz ważne

732 Kiedy zwierzę zdycha, ustaje proces syntezy ATP w komórkach. Mięśnie,

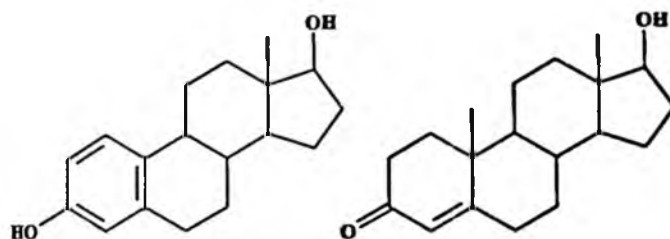
733 Estradiol i testosteron. Budowa tych dwóch związków, przedstawionych na rysunkach, jest bardzo podob-



na. Różnią się one tylko budową ostatniego pierścienia z lewej strony i przyłączonym do tego pierścienia wodorem (lub OH). Ta mała różnica wystarcza, aby powstało coś całkiem innego. Częsteczka pokazana na prawym rysunku to testosteron, podstawowy męski hormon płciowy. Jego wydzielanie rozpoczyna się w okresie dojrzewania płciowego i ma wpływ na wtórne męskie cechy płciowe.

Częsteczka przedstawiona na lewym rysunku, estradiol, jest podstawowym żeńskim hormonem płciowym. Wydzielanie go rozpoczyna się w okresie dojrzewania płciowego i ustaje w okresie przekwitania. Hormon ten kontroluje żeńskie wtórne cechy płciowe.

Powyższy przykład świadczy, że niewielkie zmiany w budowie cząsteczki mogą wywołać duże zmiany w organizmie.



Estradiol (z lewej) i testosteron (z prawej).

6

Nauka
o Ziemi

Powstanie Ziemi

734 Ziemia powstała w tym samym czasie co Słońce. Kiedy nastąpiła jego kondensacja z materii międzygwiazdowej, na zewnątrz pozostała niewielka ilość materiału, która obracała się wewnątrz dysku. Według naszej aktualnej teorii ziarna pyłu krążące w tym dysku zlepiały się w coś, co astronomowie nazywają planetozymalami, tzn. kawałkami skał i zamarzniętych cieczy o średnicy od kilku metrów do kilku kilometrów. Planetozymale przyciągały się i łącząc się, utworzyły planety z Ziemią włącznie.

735 We wczesnej fazie powstawania Ziemia rozgrzewała się i następował proces dyferencjacji (rozdzielania). Za każdym razem, gdy nowo tworząca się Ziemia przyłączała nowy planetozymal, jego energia kinetyczna przekształcała się w ciepło i efekt był taki, że planeta się topiła. Podczas fazy rozgrzewania ciężkie metale (jak żelazo) zanurzały się w głąb planety, w kierunku jej środka. Lekkie materiały (jak minerały krzemianowe) wypływały na wierzch. Różne materiały rozdzielały się, podobnie jak składniki majonezu,

któremu pozwolono stać zbyt długo. Geolodzy mówią, że dyferencjacja Ziemi rozpoczęła się we wczesnej fazie jej istnienia.

736 Radioaktywność wytwarzała ciepło w nowo powstałej Ziemi. Gaz, z którego powstał Układ Słoneczny, zawierał pewną liczbę jąder pierwiastków radioaktywnych. Część z nich dostała się do wnętrza Ziemi. Ponieważ ulegały rozpadowi promieniotwórczemu, wydzielano ciepło. Różnica między rozgrzewaniem wywołanym promieniotwórczością a tym, które następuje w wyniku uderzenia, polega na tym, że bombardowanie kończy się, kiedy zostanie już przyłączona większość luźnego materiału znajdującego się w sąsiedztwie planety, natomiast wydzielanie ciepła w procesach rozpadu promieniotwórczego trwa aż do dziś i będzie trwało, póki nie ulegną rozpadowi wszystkie jądra nietrwałe.

737 Ziemia ma budowę warstwową. Schemat jej budowy został przedstawiony na rysunku poniżej. W środku znajdują się materiały najcięższe,

w większości żelazo i nikiel – ta część Ziemi nazwana jest jądrem. Jądro wewnętrzne ma około 1287 km średnicy i znajduje się w stanie stałym. Otacza je płynne jądro zewnętrzne grubości 2092 km. Ponad jądrem rozciąga się prawie do samej powierzchni warstwa płaszcz grubości średnio 2997 km. Jest to obszar Ziemi zbudowany głównie z materiału w stanie stałym, tj. ze skał. Kolejną warstwą zewnętrzną to skorupa grubości średnio 50 km, zbudowana z lżejszych skał. Częściami skorupy są i kontynenty, i dna oceanów. Pod oceanami ma ona grubość 5–10 km, pod kontynentami średnio 40, a pod górami nawet 80 km. Materiały, z których zbudowana jest Ziemia, rozdzielili się według ich gęstości: najcięższe znalazły się w środku, najlżejsze – na powierzchni.



Budowa Ziemi.

738 Jądro ma część stałą i część ciekłą, ponieważ zarówno ciśnienie, jak i temperatura rosną z głębokością. Tak więc w zewnętrznym jądrze ciśnienie jest niższe i żelazo z niklem może wciąż jeszcze być płynne, ale bardziej w głębi ciśnienie jest tak wysokie, że metale te mogą znajdować się już tylko w stanie stałym.

739 Gdyby na Ziemi proces dyferencjacji zakończył się, to w skorupie nie byłoby w ogóle metali ciężkich. W rzeczywistości w skorupie pozostały niewielkie ilości metali ciężkich, które wydobywamy dla potrzeb przemysłu.

740 Im dalej posuwasz się w głąb Ziemi, tym staje się goręcej. Z reguły, począwszy od 20 m pod powierzchnią, temperatura rośnie o 5–70°C na każdy kilometr głębokości. Dokładny przebieg zmian temperatury zależy od struktur skalnych i rodzaju minerałów. To dlatego głębokie kopalnie (takie jak kopalnie złota) są tak niebezpiecznymi miejscami pracy – w nowo uruchomionych szybach temperatura prze-

kraczająca 55°C nie jest niczym niezwykłym.

741 Ciepło odpływa z Ziemi, ponieważ jej wnętrze jest gorące. Ilość odpływającego z Ziemi ciepła stanowi tylko 2 procent energii, którą Ziemia otrzymuje od Słońca, więc nie ma to wpływu na życie na Ziemi, jednak jest nadzwyczaj ważne w procesach geologicznych. Ilość energii, która opuszcza jeden metr kwadratowy powierzchni Ziemi (przeciętnie), jest wystarczająca do zasilania w sposób ciągły dwóch odbiorników telewizyjnych.

Tajemnica

742 Skąd to ciepło pochodzi? We wnętrzu Ziemi są dwa źródła ciepła. Jedno z nich to ciepło wytworzone podczas powstawania planety, drugie to radioaktywność. Geolodzy różnią się w swych opiniach na temat tego, ile ciepła pochodzi z tych źródeł – czy większość energii pozostała po rozgrzaniu na wczesnym etapie istnienia Ziemi, czy pochodzi z radioaktywności. Nie będziemy tego wiedzieć, póki nie

uzyskamy więcej informacji o szczegółach budowy wnętrza planety.

743 Uczni potrafią wytworzyć temperatury i ciśnienia większe niż te, które panują w samym środku Ziemi, za pomocą urządzeń nazywanych diamentowymi komorami wysokich ciśnień. Technika ta polega na umieszczeniu próbki materiału między dwoma kawałkami diamentu, a następnie ścisnaniu jej. Diamenty są przezroczyste dla światła, więc na próbkę znajdującą się pod wysokim ciśnieniem może być skierowany promień lasera, który ją rozgrzeje. W końcu lat osiemdziesiątych uczni mogli już badać próbki materiałów w takich temperaturach i ciśnieniach, jakie panują w środku Ziemi.

744 Najgłębsze wiercenia próbne są prowadzone na półwyspie Kola na Syberii, gdzie Rosja ma geologiczną stację badawczą. Według ostatnich doniesień koronka wiertnicza minęła głębokość 12 km. Jest to głębokość już dość bliska granicy możliwości technicznych.

745 Większość naszej wiedzy o wnętrzu Ziemi pochodzi z rejestracji fal sejsmicznych. Jeżeli gdzieś zdarzy się trzęsienie ziemi, to przez skały, w których wystąpiło, przemieszcza się fala. Tego typu fale są nazywane falami sejsmicznymi. Przebiegają one przez wnętrze Ziemi i są rejestrowane w odpowiednich laboratoriach rozmieszczonych na całej powierzchni Ziemi. Dane dotyczące miejsca, gdzie fale osiągnęły powierzchnię, i czasu, po jakim tam dotarły, pozwalają specjalistom na wyciąganie wniosków co do własności materiałów, przez które przeszła fala. Wewnętrzną budowę Ziemi poznaje się głównie na podstawie tego typu danych.

Ewolucja atmosfery i oceanów

746 Ziemia urodziła się bez atmosfery i bez oceanów. Gdyby na nowo powstałej Ziemi była para wodna i gazy atmosferyczne, to przypuszczalnie zmiótłby je z Ziemi silny wiatr słoneczny z młodego Słońca. Na początku Ziemia była kulą ze

stopionej skały i nie miała atmosfery.

747 Ziemia weszła w posiadanie atmosfery przez „odgazowanie”. Za każdym razem, kiedy wybuchał wulkan lub powstawało nowe gorące źródło, na powierzchnię Ziemi wydostawały się gazy z jej skorupy i górnej warstwy płaszcza. Właśnie te gazy stały się pierwszą atmosferą Ziemi. Kiedy temperatura Ziemi opadła poniżej punktu wrzenia wody, skropliła się zawarta w atmosferze para wodna i powstały pierwsze oceany.

748 Skład pierwszej atmosfery różnił się bardzo od obecnego. Według powszechnie przyjętej teorii pierwotna atmosfera składała się z metanu, amoniaku, dwutlenku węgla i pary wodnej – bez tlenu i bez azotu. Początki życia powstały z częsteczek takiej właśnie atmosfery.

749 Pierwszymi istotami żywymi na Ziemi były prawdopodobnie sinice. Glony te w procesie fotosyntezy przekształcały dwutlenek węgla i energię świetlną, wydzielając tlen jako zbyteczny produkt przemiany materii. Jednocześnie cząsteczki

wody w górnych warstwach atmosfery były rozkładane przez Słońce i również uwalniały tlen. Sumarycznym efektem obu tych procesów była zmiana składu atmosfery, nazywana Wielkim Przewrotem. Zdarzyło się to około 2 miliardów lat temu. Ziemia przeszła wtedy od swojej pierwotnej atmosfery do atmosfery bogatej w tlen, podobnej do dzisiejszej.

750 Całkowita ilość wody na powierzchni Ziemi prawie się nie zmieniła. Większość wody znajdującej się teraz w oceanach spadła z atmosfery w pierwszym deszczu. Dzisiaj ucieka rocznie z Ziemi w przestrzeń kosmiczną mniej więcej jeden basen pływakki pełen wody i tyle samo przybywa z otworów hydrotermicznych w skorupie ziemskiej na dnie oceanów. Tak więc woda, której używamy dzisiaj, jest tą samą, jakiej używało wiele istot żywych w historii naszej planety.

751 Księżyc jest zbudowany z materiałów, które w przybliżeniu mają tę samą gęstość co płaszcz Ziemi, ale w Księżycu prawie nie ma żelaza. Ta fundamentalna różnica sprawia

olbrzymi kłopot uczonym próbującym zrozumieć, jak ewoluował Księżyc.

752 W czasach, kiedy była w cenie teoria oderwania Księżyca od Ziemi, sądzono, że niecka Pacyfiku jest dziurą pozostałą po wyrwaniu Księżyca – „blizną po porodzie”. Dzisiaj dzięki odkryciu płyt tektonicznych wiemy, że niecka Pacyfiku jest tylko przejściowym ukształtowaniem powierzchni Ziemi.

Tajemnica

753 Skąd się wziął Księżyc? Istnieje kilka różnych teorii na temat jego pochodzenia. Pierwsza z nich to „teoria oderwania”, zgodnie z którą Księżyc został kiedyś w przeszłości oderwany od Ziemi. Wyjaśnia ona, dlaczego skład Księżyca jest inny niż skład Ziemi – oderwanie części płaszcza nastąpiło już po dyferencjacji materiałów na Ziemi.

Według innych teorii Księżyc powstał gdzie indziej w Układzie Słonecznym i został pochwycony

przez Ziemię. Teorie te także wyjaśniają, dlaczego Księżyc i Ziemia różnią się składem, trudności jednak nastęca przedstawienie szczegółów pochwylenia. Przejęcie jednego obiektu przez drugi okazało się bardzo skomplikowane.

Jeszcze inaczej wyjaśnia istnienie Księżyca „teoria wielkiego zderzenia”. Według tego scenariusza wielki meteoryt uderzył w Ziemię wkrótce po jej powstaniu, ale już po oddzieleniu się ciężkich metali i ich przemieszczeniu do jądra. W wyniku zderzenia na orbitę wokół Ziemi zostało wyrzuconych mnóstwo odłamków materiału z jej zewnętrznych warstw. Materiał ten uformował się w ciało, które nazywamy Księżycem.

Gdybym musiał się zakładać, postawiłbym pewną sumę na teorię zderzenia, lecz nie byłaby to duża suma.

Datowanie Ziemi

754 Datowanie jakiegoś materiału jest trudną sprawą – skały nie mają wskazówek w rodzaju: „Powstała 10 milionów lat temu”. W geologii stosuje się

dwie podstawowe techniki ustalania dat: wzajemne ułożenie (prowadzi do określenia wieku względnego skał); datowanie metodą radiometryczną (określenie wieku bezwzględnego skał).

755 Jeżeli na danym obszarze nie było zaburzeń, to skały głębiej leżące w ziemi są starsze. Na przykład warstwy na dnie Wielkiego Kanionu utworzyły się wcześniej niż warstwy na jego górnej powierzchni. Ta prosta zasada prowadzi do ustalenia względnego wieku skał. Na podstawie tak ustalonego wieku wiadomo, która warstwa była wcześniejsza, a która późniejsza. Nie wiemy jednak, ile czasu upłynęło, zanim zaczęła powstawać następna warstwa, ani ile czasu trwało jej układanie.

756 Wiek względny skał określa się również na podstawie występujących w skałach skamieniałości przewodnych. Często zależy nam na porównaniu wieku skał w jednej kolumnie z wiekiem skał w innej kolumnie. Interesuje nas na przykład odpowiedź na pytanie: „Czy określona warstwa w Wielkim Kanionie powstała wcześniej, czy póź-

niej niż badana warstwa w Kalifornii?” Korelację między różnymi kolumnami skał bada się za pomocą skamieniałości przewodnych. Zasada pomiaru jest prosta: jeżeli jakiś gatunek zwierząt był szeroko rozpowszechniony, lecz pojawił się tylko na krótko, to może stanowić „skamieniałość przewodnią”. Znalezienie skamieniałości tych samych zwierząt w dwóch warstwach skał położonych daleko od siebie świadczy, że powstały one w tym samym czasie.

757 Homo sapiens będzie wspaniałą skamieniałością przewodnią. Wcześniej niż kilkaset tysięcy lat temu nie było na Ziemi przedstawicieli naszego gatunku i w tym krótkim czasie rozprzestrznilimy się na całym globie. Jeżeli zostaną zrealizowane nasze najgorsze sny i osiągniemy sukces, doprowadzając ludzkość do zagłady, to możemy się pocieszyć informacją, że przyszli paleontolodzy, natrafiając na pozostałe po nas kości, będą dokładnie wiedzieli, kiedy one powstały.

758 Datowanie metodą radiometryczną jest oparte na znajomości okresu połowicznego zaniku. W celu oszacowania tą metodą wieku obiektu trzeba wiedzieć, ile było atomów danego izotopu promieniotwórczego w czasie, gdy obiekt się formował, a także znać okres jego połowicznego zaniku i wiedzieć, ile atomów tego izotopu znajduje się w obiekcie obecnie. Na przykład jeżeli w świeżo powstałym obiekcie było tysiąc atomów, a teraz jest ich pięćset, to obiekt powstał tyle czasu temu, ile wynosi okres połowicznego zaniku danego izotopu.

759 Datowanie za pomocą węgla-14 jest najlepiej znaną techniką radiometryczną. Zasada pomiaru jest następująca. Organizm żywy stale pobiera z atmosfery węgiel i staje się on składnikiem jego tkanek. W węglu tym udział procentowy izotopu promieniotwórczego węgla-14 jest stały. Kiedy żywy organizm umiera, zaczyna się rozpad promieniotwórczy węgla-14. Okres połowicznego zaniku węgla-14 wynosi 5730 lat, więc jest to idealny izotop do mierzenia czasu, jaki minął od śmierci obiektu, który żył w ostatnich kilkudziesięciu

tysiącach lat. Metoda ta jest szczególnie ważna dla archeologów, ponieważ czas, jaki upłynął od śmierci drzewa, umożliwia oszacowanie czasu wykonania znalezionej narzędzia.

760 Do datowania czasu formowania się skał stosuje się podobną technikę. Powszechnie używa się do tego celu potasu-40, który ma okres połowicznego zaniku równy 1,3 miliarda lat. Produktem rozpadu promieniotwórczego potasu-40 jest argon-40. Wszystkie jego atomy, które wykryto w skale, pochodzą z rozpadu potasu pierwotnie znajdującego się w skale. Zmniejszenie ilości argonu wystarcza zatem do określenia czasu powstania skały. Ta technika została użyta do datowania skał przywie-

zionych z Księżyca przez astronautów misji Apollo.

761 Wiek Ziemi wynosi około 4,6 miliarda lat. Najstarsze skały liczą prawie 3,9 miliarda lat, więc Ziemia musi być od nich starsza. Skały Księżyca i meteorytów (powstałych w tym samym czasie co Ziemia) mają 4,6 miliarda lat. Ten właśnie wiek przyjęto jako wiek Ziemi.

762 Najstarsza skala na Ziemi ma 4 miliardy lat – a dokładnie 3,96. Jest to ziarno cyrkonu znalezione w znacznie młodszej skale w Kanadzie. Najstarsza formacja skał znajdująca się w zachodniej Grenlandii jest datowana na blisko 3,8 miliarda lat.

Płyty tektoniczne

763 Powierzchnia Ziemi stale się zmienia. Łańcuchy górskie wznoszą się i są niszczone przez erozję, oceany pojawiają się i znikają, wszystko to w skali

kilkuset milionów lat. Nic nie trwa wiecznie.

764 Litosfera – górna warstwa Ziemi, złożona ze

skorupy i części płaszcza – jest zbudowana z płyt będących w stałym ruchu. Teorię tę nazwano tektoniką płyt. Wyraz „tektonika” pochodzi od greckiego słowa oznaczającego „budować” – ten sam rdzeń znajduje się w wyrazie „architekt”. Płyty litosfery mają w przybliżeniu 50–100 km grubości i rozmiary od kilkuset do kilkunastu tysięcy kilometrów. Ruchem płyt rządzą siły działające wewnątrz Ziemi, prawdopodobnie pochodzące od konwekcji (patrz niżej). Powodują one ciągłe zmiany ukształtowania powierzchni Ziemi.

765 Tektonikę płyt poprzedziła teoria dryfu kontynentów, którą ogłosił w 1915 r.

niemiecki geofizyk Alfred Wegener. Przedstawił on dowody na ruch kontynentów, ich rozdzielanie się i łączenie. Nie potrafił jednak znaleźć przekonujących przyczyn tego ruchu, dlatego pod koniec lat trzydziestych uznano jego teorię za błędną raczej, nie rokującą nadziei na wyjaśnienie ewolucji Ziemi. Tektonika płyt jest syntezą, wykorzystującą między innymi teorię dryfu.

766 Kontynent powoduje za-
trzymanie się płyty litosfery. Częścią niektórych płyt litosfery jest ląd. Na przykład Płyta Północnoamerykańska rozciąga się od grzbietu środkowoatlantyckiego do zachodnich wybrzeży Ameryki Północnej. Po-



Płyty litosfery.

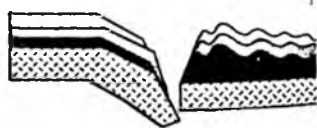
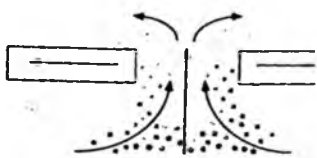
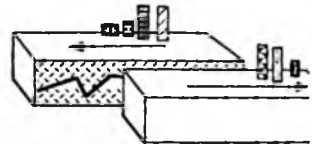
nieważ kontynent zbudowany jest z lekkich skał, raczej nie może być wciągany w głąb płaszczu Ziemi (a jeśli już jego część zostanie wciągnięta, to i tak zatrzyma dalsze pogrążanie się płyty). Dlatego płyta owa nie pogrąży się, czyli nie ulega subdukcji, na swoim zachodnim brzegu. Himalaje spiętrzają się wskutek naporu Płyty Indyjskiej na Płytę Euroazjatycką. Natomiast Płyta Pacyfiku nie zawiera żadnego kontynentu – cała jest dnem oceanu, nie licząc wysp.

767 Siły utrzymujące płyty w ruchu powstają w wyniku prądów konwekcyjnych w płaszczu Ziemi. We wnętrzu Ziemi jest tak dużo ciepła, że nie może ono przedostać się do powierzchni za pomocą procesu przewodzenia, a zatem skały w płaszczu Ziemi muszą podlegać konwekcji. Skały znajdujące się w pobliżu jądra Ziemi w ciągu kilkuset milionów lat przemieszczają się ku powierzchni, oddając swoje ciepło, a następnie znów idą na dno.

Płyty przemieszczają się zgodnie z ruchem górnego prądu poziomego komórek konwekcyjnych, a kontynenty – suchy ląd – jadą na płytach (na komórkę konwekcyjną składa się prąd

wstępujący, prąd poziomy górny, prąd zstępujący i prąd poziomy dolny – przyp. tłum.). Powierzchnia Ziemi wygląda jak warstwa oleju na wrzącej wodzie – wszystko jest w ciągłym ruchu. Decydują o tym wydarzenia zachodzące głęboko we wnętrzu.

768 Granice płyt to miejsca, gdzie coś się dzieje. Ponieważ płyty są grubymi warstwami sztywnej skały, nie dzieje się na nich nic specjalnego z wyjątkiem miejsc, gdzie płyty się sty-



Granice między płytami: konserwatywna (rysunek górny), dywergentna (środkowy) i konwergentna (dolny).

kają – obszary te nazywamy granicami płyt. Trzęsienia ziemi, wulkany i inne procesy geologiczne skupiają się właśnie w regionach granic płyt. Rozróżnia się trzy główne typy granic między płytami: konserwatywną (neutralną), dywergentną (rozbieżną) i konwergentną (zbieżną). Przedstawiono je na rysunku.

769 Nowa skorupa tworzy się na granicy dywergentnej, gdzie gorąca skała z płaszczu wznosi się ku powierzchni i rozsuwa dwie płyty. Jeżeli granica dywergentna znajduje się pod dnem oceanu, to tworzy się podwodny łańcuch górski, na przykład grzbiet pod Atlantykiem, który jest najdłuższym łańcuchem górskim na Ziemi. Ciągnie się on od Islandii nieprzerwanie aż do Antarktydy. Wzdłuż tego grzbietu rozsuwają się płyty Północnoamerykańska i Euroazjatycka, a Ocean Atlantycki staje się szerszy o parę centymetrów w ciągu roku. Jeżeli granica dywergentna znajduje się pod skorupą kontynentalną, to rozrywa się, w miarę jak płyty się rozsuwają. Ten właśnie proces zachodzi teraz w Wielkiej Dolinie Ryftowej w środkowowschodniej i wschodniej Afryce.

770 Na granicach konwergentnych ulega zniszczeniu powierzchnia w miejscach, gdzie jedna płyta podsuwa się pod drugą. Proces ten nazwano subdukcją. O płycie, która się pogrąży, mówimy, że jest subdukowana, a obszar objęty tym procesem nazywa się strefą subdukcji. Materiał w płycie subdukowanej ulega stopieniu i jego pula atomów dołącza do innych, które już znajdują się we wnętrzu Ziemi.

Rozróżnia się kilka typów stref subdukcji. Jeżeli dwie płyty nie mają na sobie kontynentów w roli pasażerów, to w wyniku subdukcji powstają głębokie rowy oceaniczne. W ten właśnie sposób uformował się Rów Mariański w pobliżu Filipin. Jeżeli na jednej z płyt jest kontynent, to materiał, z którego zbudowany jest kontynent, „zgniata się” podczas unoszenia nad strefą subdukcji i tworzy się długi łańcuch gór, czasem wraz z przylegającym do niego rowem oceanicznym. Przykładem takiego procesu, który nadal trwa, są Andy w Ameryce Południowej. Jeżeli na obu płytach są kontynenty, to oba te kontynenty „stapiają” się ze sobą, tworząc łańcuch górski. Góry Ural wyznaczają miejsce, gdzie

połączyły się ze sobą Azja i Europa, a Himalaje – miejsce, gdzie subkontynent indyjski przyłączył się do Azji.

771 Granice konserwatywne (inaczej nazywane uskokami transformacyjnymi) między płytami wyznaczają miejsca trzęsien ziemi, które występują, gdy jedna płyta ślizga się wzdłuż drugiej. Taki proces zachodzi w uskoku San Andreas w Kalifornii i wyjaśnia liczne trzęsienia ziemi nawiedzające region San Francisco – Los Angeles.

772 Teoria tektoniki płyt jest ujednoczonym obrazem procesów zachodzących na naszej planecie. Wykazuje ona, że wszystkie długoterminowe procesy geologiczne są związane z ruchem płyt i że ruch ten z kolei zależy od ruchu skał w płaszczu Ziemi spowodowanego przepływem ciepła w jej wnętrzu. Planeta jest jak cudowna maszyna, w której wszystkie części pasują do siebie i czerpią energię z tego samego źródła.

773 Dwieście milionów lat temu wszystkie lądy na Ziemi tworzyły całość, którą nazywano Pangeą (cała Ziemia). Po-

tem jeden kontynent podzielił się na dwa mniejsze: Gondwanę i Laurazję. Dalsze rozszczepianie się doprowadziło kontynenty na miejsca, w których się teraz znajdują. W przyszłości nadal będą się przemieszczać. Kształt lądów będzie się również zmieniał, tak jak było do tej pory.

774 Czapy lodowe i lasy deszczowe, ściślej – wilgotne lasy tropikalne, nie zawsze istniały na naszej planecie. Powstały wskutek ruchu kontynentów. Większe czapy lodowe pojawiają się tylko wtedy, gdy na biegunie północnym lub południowym są kontynenty. Lasy deszczowe pojawiają się tylko wtedy, gdy lądy ciągną się w kierunku północ-południe. Przez większą część swojej historii Ziemia nie miała ani czap lodowych, ani lasów deszczowych i jej klimat bardzo się różnił od obecnego.

775 Istnieją bezpośrednie dowody potwierdzające ruch kontynentów. W połowie lat osiemdziesiątych astronomowie skierowali teleskopy w Europie

i Stanach Zjednoczonych na ten sam pulsar, a następnie zmierzono różnicę czasu przybycia fal radiowych. W ten sposób otrzymano nadzwyczaj dokładny pomiar odległości między teleskopami i zaobserwowano, że w ciągu roku odległość ta zmieniła się o kilka centymetrów. Stanowi to bezpośredni dowód na to, że Europa i Ameryka Północna odsuwają się od siebie.

776 Ziemia jest najbardziej „żywa” ze znanych planet. Powierzchnia jej ulega ciągłym zmianom, między innymi pod wpływem sił działających w jej wnętrzu. Większość innych planet i satelitów jest względnie niezmienna. Wykryto jednak czynne wulkany na Wenus i na Io – księżycu Jowisza. Wulkanizm na Io, bardzo silny, jest skutkiem rozgrzewania podczas przypliwów. W przeszłości wulkany działały na Marsie i Księżycu.

777 We współczesnej geofizyce badanie „gorących plam” jest palącym problemem (przepraszam za grę słów). Istnieją regiony, gdzie bąble lub pióropusze gorącego materiału z płaszczu podnoszą się ku skorupie, niezależnie od tego, jak są położone komory konwekcyjne. Możesz wyobrazić sobie, że te gorące plamy są analogiczne do przypadkowo powstających bąbli na wodzie tuż przed momentem osiągnięcia wrzenia. Kiedy materiał tworzący gorącą plamę dotrze skorupy, wypycha ją do góry. Sądzi się, że położenie gorących plam jest ustalone, natomiast ponad tymi plamami przesuwają się płyty. Skutkiem jest powstanie łańcucha wysp wulkanicznych. Mariany i Hawaje to przykłady takich łańcuchów.

Geologiczne ukształtowanie powierzchni Ziemi

Góry

778 Góry nie są wieczne – mają nie więcej niż kilkaset milionów lat. Appalacy na wschodnim wybrzeżu Stanów Zjednoczonych są niskie, o zaokrąglonych kształtach i bliskie końca swego życia. Góry Skaliste natomiast, powstałe około 65 milionów lat temu, są urwiste i ciągle jeszcze mają wygląd gór nowo narodzonych. Istnieje wiele mechanizmów formowania gór na powierzchni Ziemi – każda góra lub łańcuch górski ma swoją własną historię do opowiedzenia.

779 Łańcuchy górskie o budowie fałdowej. Appalacy uformowały się, kiedy aktywność tektoniczna spowodowała zderzenie z Ameryką Północną kontynentu, który teraz jest Europą. W wyniku tego skały kontynentu sfaldowały się jak obrus na stole, tworząc szeregi długich, równoległych grzbietów rozdzielonych dolinami. Z tego powodu

drogi w takich miejscach jak wschodnia Pensylwania biegną zazwyczaj w kierunku z południowego zachodu na północny wschód, bo w takim właśnie kierunku układają się doliny.

780 Zapadliska i góry zrębowe. W Nowej Anglii i Utah łańcuchy gór utworzyły się następująco. Duże bloki skał poślizgiły się, podczas gdy inne bloki stały nadal. Wynikiem tego procesu jest powtarzający się wzór zapadlisk i zrębów, których ostre kany zaokrągliła erozja. Proces prowadzący do powstania gór zrębowych zachodzi wówczas, gdy siły tektoniczne wywierają nacisk na powierzchnię. Innym przykładem gór tego typu są Sierra Nevada w Kalifornii.

781 Góry kupałowe. Czasami skały są po prostu wypchnięte spod ziemi, jak gdyby podnosił je do góry tłok. Tak może się zdarzyć, jeżeli na przykład akurat pod tym regionem jest gorąca plama. Proces wypię-

trzania powoduje powstanie wzniesień w przybliżeniu okrągłych i nie związanych z innymi wzniesieniami. Przykładem takich właśnie gór są Black Hills w Południowej Dakocie.

782 Góry Skaliste są bardzo złożonym tworem geologicznym i do ich powstania przyczyniło się wiele procesów górotwórczych. Część z nich powstała z pewnością wtedy, kiedy małe kawałki materiału kontynentalnego zostały dzięki aktywności tektonicznej doklejone na zachodzie Stanów Zjednoczonych. Inne części mogły powstać w wyniku fałdowania lub wypiętrzania (niezależnie od doklejenia). Precyzyjne wyjaśnienie geologicznego pochodzenia Gór Skalistych wciąż jeszcze pozostaje zadaniem dla wielu specjalistów.

Wulkany

783 W wulkanach podnosi się w górę gorąca magma z dolnej części skorupy i górnej części płaszczu. Wulkany powstają w miejscach, w których na skorupę jest wywierany silny nacisk. Mapa ziemskiej aktywności wulkanicznej uderzająco przypo-

mina mapę granic między płytami. Najlepszym przykładem tego zjawiska jest „pierścień ognia” okalający Ocean Spokojny.

Skutki działania sił odpowiadających za powstawanie wulkanów na granicy płyt są widoczne w strefie subdukcji. Kiedy jedna płyta wsuwa się pod drugą, wskutek tarcia powstaje dodatkowe ciepło (radioaktywność w samych płytach także jest powodem wydzielenia się ciepła), które wznosi się ku powierzchni i tworzy łańcuch wulkanów. Sznur wysp zachodniego Pacyfiku od Aleutów, przez Japonię, do Filipin jest przykładem tego typu wulkanizmu.

784 Znany stożkowy kształt wulkanu powstaje wskutek erupcji centralnej. W tym procesie magma podchodzi do szczytu wulkanu pojedynczym przewodem i jest następnie wyrzucana. Stożek jest zbudowany z popiołów opadających na ziemię i z magmy, która stygnie i się zestala.

Krater powstały w wyniku wybuchu nazywa się kalderą. Przykładem jej jest Crater Lake w Oregonie, podobnie jak cały obszar Parku Narodowego Yellowstone.

785 Erupcja może zachodzić również w szczelinach. W swojej najbardziej ekstremalnej formie ten rodzaj erupcji powoduje powstawanie dużych pokryw bazaltowych, takich jak pola trapowe na styku stanów Waszyngton, Idaho i Oregon. Bazalty są najpospolitsze wśród skał magmowych wylewnych na powierzchni Ziemi.

786 Legenda o zaginionym kontynencie, Atlantydzie, jest zapewne oparta na fatalnym losie wyspy Thera, leżącej w pobliżu Krety na Morzu Śródziemnym. W roku 1628 p.n.e. olbrzymi wybuch wulkanu zniszczył większą część tej wyspy. Dzisiaj jest to łuk skalny po jednej stronie wielkiej, wypełnionej wodą kaldery. Uważa się, że wybuch ten, wraz z towarzyszącymi mu falami pływowymi, był odpowiedzialny za zniszczenie cywilizacji minojskiej.

787 Największy wybuch w historii współczesnej to wybuch wulkanu na wyspie Krakatau obecnie należącej

do Indonezji. W 1883 r. w powietrze zostało wyrzuconych 18 km³ materiału i znikło trzy czwarte wyspy. Fala wstrząsów od tej eksplozji obiegła świat kilkakrotnie i była rejestrowana we wszystkich laboratoriach Europy i Stanów Zjednoczonych. Ostatnim wybuchem w USA (w stanie Waszyngton) był wybuch wulkanu Mount Saint Helens w 1980 r. Spowodował duże szkody lokalne, ale nie wywarł większego wpływu na resztę kontynentu.

Lodowce

788 Lodowce to duże nagromadzenie lodu znajdującego się w ciągłym ruchu (w dół). Szacuje się, że pokrywają 10 procent powierzchni lądów na Ziemi i wiążą 5 procent ziemskiej wody. Często leżą w wysokich górach, ale główne pola lodowe Ziemi znajdują się na Antarktydzie i Grenlandii. Czapa lodowa nad Antarktydą ma miejscami około 4700 m grubości.

Świeżo spadły śnieg występuje w formie luźnej, lecz w miarę jak

osiada, zmienia się w lód ziarnisty, tzw. firn. Pod wpływem ciężaru firn przekształca się w lód lodowcowy, będący głównym składnikiem lodowców. Lód ten jest bardzo zbity. Czoło lodowca topnieje, a jednocześnie, wysoko w górach, ilość lodu rośnie wskutek nowych opadów śniegu. Lodowiec cofa się lub nasuwa zależnie od tego, czy w danym roku więcej śniegu przybyło, czy się stopiło.

789 Lodowce płyną niemal tak jak rzeki. Podobnie jak woda w rzece – lód płynie najszybciej w środku, a najwolniej przy brzegach i dnem z powodu oporu gruntu. Lód w środkowej części lodowca pełźnie z prędkością od 0,1 do 30 m na dobę, a w głębi lodowców kontynentalnych, czyli lądolodu – od 9 do 20 m na rok. Czasem zdarza się, że czoło lodowca, bardzo powoli pełznące, zwiększy prędkość i przesunie się setki metrów w ciągu dnia. Nazywa się to szarżą. Może ona wystąpić tylko w takim lodowcu, w podstawie którego lód topnieje.

790 Lód pełznąc nadaje przekrojowi poprzecznemu doliny kształt zbliżony do litery „U”.

Doskonałym przykładem jest Dolina Białej Wody w Tatrach. Natomiast dolina wyłobiona wyłącznie przez wodę ma przekrój podobny do litery „V”. W powstaniu wspaniałej rzeźby doliny Yosemite, w środkowej Kalifornii, brały udział lodowce.

791 Miejsce najdalszego zasięgu lodowca często jest zaznaczone przez morenę. Pełznący lód transportuje zdzierany grunt i kawałki skał, które kruszy na żwir i piasek. Lodowiec, powiększając swój zasięg – nasuwając się – czasem pcha przed sobą zdzierane podłoże. Oba te mechanizmy powodowały, że gdy cofał się (zmniejszał swój zasięg) lub tylko zatrzymywał swoją ekspansję, w miejscu, do którego dotarł, pozostawało wypukłe nagromadzenie gruzu skalnego – morena końcowa, zwana też, raczej w przypadku dolin górskich, moreną czołową.

792 W niedawnej przeszłości (w skali geologicznej) na półkuli północnej rozwinęły się ogromne lądolody. Epoka ta, zwana lodową, trwała od 600 000 do 10 000 lat temu, a ściślej – do 4000 lat temu, kiedy stopniał lądolód pokrywający Skandynawię. Za-

sięg lądolodu powiększał się i zmniejszał; największy był około 450 000 lat temu, kiedy w Ameryce Północnej sięgał po Saint Louis, Cincinnati i Nowy Jork, a w Polsce oparł się o Sudety i Karpaty.

793 Kiedy lodowce rosną, poziom mórz opada. Ponieważ całkowita ilość wody się nie zmienia, to im więcej wody zostanie uwiecznione w lodowcach, tym mniej jej pozostaje do wypełniania basenów oceanicznych. Tak więc w okresach zlodowacenia poziom mórz opada. Podczas ostatniego zlodowacenia wschodnie wybrzeże Stanów Zjednoczonych rozciągało się prawie 250 km dalej na wschód niż dzisiaj.

Trzęsienia ziemi

794 Trzęsienia ziemi są wynikiem uwolnienia energii zmagazynowanej w skałach – energia ta powstaje, gdy skały są ściskane lub rozciągane i reagują na to deformacją. W końcu osiągną punkt krytyczny i pękają, uwalniając zmagazynowaną energię. Właśnie ona powoduje trzęsienia ziemi.

Ponieważ skały przemieszczają się względem siebie na granicach płyt, tam najczęściej dochodzi do trzęsień ziemi. Dobrze znanym miejscem, gdzie często występują, jest uskoki San Andreas reprezentujący granicę między płytami Pacyfiku a Północnoamerykańską. To samo dotyczy obszaru w północnej Turcji i na południu byłego Związku Radzieckiego, na granicy między płytami Anatólijską i Euroazjatycką.

795 Trzęsienia ziemi powodują powstawanie fal sejsmicznych. Rozróżnia się wiele rodzajów tych fal. Najważniejsze z nich to fale „S” i „P” (nazwane od pierwszych liter słów *secundae* i *primae*). Fale „P”, podobnie jak dźwiękowe, są podłużne. „S” jest falą poprzeczną, w której skały poruszają się poprzecznie względem kierunku przemieszczania się fali. Oba rodzaje fal przebiegają przez wnętrza Ziemi i są głównym źródłem informacji o budowie naszej planety.

796 Małe podziemne wybuchy jądrowe są również ważnym źródłem fal sejsmicznych. Wybuch wypycha

skały we wszystkich kierunkach i dlatego powstają głównie fale „P”, natomiast trzęsienie ziemi raczej tylko rozsuwa skały na boki i dzięki temu tworzy się więcej fal „S”. Rodzi się pytanie: jak mały musi być wybuch, aby jeszcze dał się odróżnić od naturalnego trzęsienia ziemi?

797 Wielkość trzęsień ziemi mierzy się w skali Richtera. Skala ta oparta jest na ilości energii uwalnianej w trzęsieniu ziemi i szkód, jakie wywołało ono na powierzchni. Utworzona jest tak, że wzrost wielkości o jeden stopień odpowiada dziesięciokrotnie większej ilości uwolnionej energii. Tak więc trzęsienie ziemi odpowiadające sile wstrząsów 7 w skali Richtera jest sto razy silniejsze niż odpowiadające sile wstrząsów 5.

Trzęsienie ziemi o magnitudzie 2 zostanie zauważone prawdopodobnie wyłącznie przez specjalistów. Magnituda 5 nie uszkodzi dobrze skonstruowanych budynków, lecz zawałają się konstrukcje bardziej kruche. Trzęsienie ziemi, jakie nawiedziło San Francisco 17 października 1989 r.,

wynosiło 7,1 w skali Richtera. Geolodzy obawiają się, że w nieodległej przyszłości w rejonie uskoku San Andreas wystąpi trzęsienie ziemi o sile 8. Jeżeli tak się stanie, będzie to wielka klęska żywiołowa. Według opinii geologów największe możliwe trzęsienie ziemi może mieć siłę 9 magnitud, skały bowiem nie mogą zmagazynować więcej energii.

Pustynie

798 Pustynie nie są wieczne. Stanowią regiony, na których suma rocznych opadów nie przekracza 25 cm. Duże obszary pustynne na Ziemi nie zawsze były pustyniami w przeszłości i nie zawsze będą nimi w przyszłości. Na ogół występują w regionach o stałym, wysokim ciśnieniu atmosferycznym lub tam, gdzie chmury deszczowe zatrzymuje pasmo wysokich gór. Pustynia Mojave jest przykładem regionu leżącego w „cieniu opadowym” gór, a Sahara należy do pustyni o wysokim ciśnieniu.

I istnienie gór, i położenie kontynentów zmienia się wskutek ruchów tektonicznych. Dlatego pu-

stynie pojawiają się i znikają. Istnieją na przykład dowody na to, że kilkaset milionów lat temu Sahara była pokryta lodowcem.

799 Główną formą erozji na pustyniach jest działanie wiatru zwiewającego glebę i bardzo rzadkich deszczów, które ją zmywają. Nie ma zatem na pustyni procesów niezwykłych, nie zdarzających się gdzie indziej. Jeżeli chodzi o erozję, pustynia nie jest niczym szczególnym.

800 Pustynia to nie tylko wydmy z piasku. Na wielu pustyniach można spotkać obszary piaszczyste nazywane ergami, ale o wiele częściej niż ergi występują niewielkie regiony skąpej roślinności, oddzielone polaciami nagiej ziemi.

Wydmy piaszczyste tworzą się w wyniku procesu zwanego saltacją. Jeżeli nachylenie zbocza wydmy jest małe, ziarna piasku będą podnoszone w górę przez wiatr, przenoszone nad wydmą i spadną po jej drugiej stronie. W ten sposób wysokość wydmy zwiększa się. Jeżeli nachylenie wydmy jest zbyt duże, piasek będzie się z niej ześlizgiwał i obniży ją.

Plaże

801 Plaże nie są wieczne. Ruchy tektoniczne zmieniają położenie basenów oceanicznych, a zmiany poziomu mórz podczas okresów zlodowacenia są zjawiskiem zwyczajnym. To też dzisiejsza linia brzegowa może jutro znaleźć się pod wodą lub daleko w głębi lądu. Oprócz tych procesów długoterminowych działa wiele sił, które mogą spowodować zmianę położenia plaż w ciągu paru dziesiątków lat (patrz niżej). Plaże są zatem tworem przejściowym – ciesz się nimi, póki możesz.

802 Przemieszczanie się piasku wzdłuż plaży. Ruch ten obserwuje się tylko w przypadku, gdy fale napływają na plażę pod pewnym kątem, wtedy bowiem kierunek napływu fali nie pokrywa się z kierunkiem jej spływu. Napływ niesie ziarenko piasku skośnie w górę, a spływ – zgodnie z kierunkiem siły grawitacji, czyli pionowo w dół. W ten sposób droga ziarenka piasku przypomina zęby piły. W ciągu dni lub tygodni pojedyncze ziarenko piasku będzie się przesunęło wolno zygzakiem w górę i w dół plaży.

Każda fala przesunie je także o mały odcinek wzdłuż plaży.

803 Sztormy odgrywają wielką rolę w kształtowaniu plaży. Na ogół niosą duże fale, które zabierają piasek z brzegu. Kiedy morze jest spokojne, piasek jest na plażę наносzony. Zimą zatem, gdy nadchodzą sztormy, plaża spływa do morza, natomiast latem jej przybywa.

804 Próby „ochrony” plaży mogą być zadaniem bardzo kosztownym i chybionym. Naciski na ochronę plaż, czyli powstrzymanie ich erozji, są kolosalne. Buduje się falochrony w celu powstrzymania fal, a także ostrogi, aby powstrzymać piasek. Tego typu działania nie uchronią plaż. Falochrony powstrzymują

małe fale od nanoszenia piasku na plażę, ale nie zapobiegają zabieraniu piasku przez duże fale. Ostateczny efekt jest taki, że plaża za falochronem znika. Doprowadza to do paradoksalnej sytuacji – ktoś buduje dom, by cieszyć się plażą, następnie buduje falochron w celu ochrony domu i okazuje się, że znikła plaża stanowiąca zachętę do zbudowania domu.

Drewniane kraty zapobiegają zsuwaniu się piasku w dół plaży. Chroni się w ten sposób własną plażę kosztem plaży sąsiada. Na przykład Assateague National Seashore w Wirginii, czterdziestokilometrowy pas naturalnych plaż i wydm, uległ silnej erozji wskutek położenia krat zatrzymujących piasek w sąsiedniej miejscowości wypoczynkowej Ocean City w stanie Maryland.

Skąły i minerały

805 Skąły nie są wieczne. Chociaż duże skąły wydają się odporne i stabilne, to z punktu widzenia geologa są efemerydami. W ciągu długiego

czasu skąły powstają, zaczynają wietrzeć i w końcu zastępowane są innymi.

Skąły są niszczone i ulegają erozji na wiele sposobów. Przy-

kładami tych procesów jest działanie bieżącej wody, abrazja przez wiatr niosący piasek i pył, wyflukiwanie przez substancje chemiczne, wpływ rozrastania się roślin.

806 Kiedy Ziemia powstała, nie było na niej gleby. Dopiero gdy wskutek wyżej wymienionych procesów skały zaczęły niszczyć, odłupały się od nich małe ziarenka. Dzisiaj te ziarenka skal są wymieszane z materiałem pochodzenia organicznego, tzn. resztkami roślin i zwierząt, a także różnymi rodzajami bakterii, i wspólnie tworzą glinę.

807 Piasek na plaży można traktować jako przybliżony obraz pierwszej ziemskiej gleby – pozostałości skal z niewielką ilością materiału organicznego. Kiedy następny raz będziesz na plaży, przyjrzyj się piaskowi. Zobaczysz, że w jednej garści piasku jest dużo ziaren różnych kolorów. Każde z tych ziaren odłupało się od skały innego rodzaju, każda z tych skal występuje w górach w innym miejscu.

808 Skały klasyfikuje się według sposobu, w jaki powstały, a nie wyglądu lub budowy. Rozróżnia się trzy główne rodzaje skal – osadowe, magmowe i metamorficzne.

809 Około 75 procent powierzchni kontynentów stanowią skały osadowe. Większą część reszty zajmują skały magmowe, a skal metamorficznych jest tylko kilka procent.

810 Skały osadowe powstają wówczas, gdy materiał niesiony przez wodę osadza się na dnie zbiorników wodnych. W miarę upływu czasu warstwy detrymentu stają się coraz grubsze i w końcu mogą zostać zagrzebane pod nowymi warstwami. Ciśnienie powstające w wyniku tego procesu ścisła ziarna materiału, a substancje chemiczne niesione przez wodę podziemną tworzą rodzaj kleju, który skleja pierwotny materiał w skałę. Skały tworzące się w ten sposób nazywamy osadowymi. Piaskowiec (utworzony z piasku, jak sama nazwa wskazuje), wapień (utworzony ze szkieletów małych organizmów

morskich) i łupek (z warstw mułu i iltu) są przykładami skal osadowych.

811 Skały osadowe często możesz rozpoznać przez okno samochodu. Jeżeli jechałeś kiedyś drogą wyciętą w skałach i wygląd skal skojarzyłeś z książkami leżącymi jedna na drugiej, to patrzyłeś na skały osadowe. Ich dzisiejszy wygląd wskazuje wyraźnie, że powstawały jako kolejne warstwy na dnie zbiornika wodnego.

812 Skały osadowe na szczytach gór są dowodem potwierdzającym teorię tektoniki płyt. Często można spotkać skały osadowe w wysokich górach. Skały te musiały się zrodzić na dnie oceanu, stąd wniosek, że istniały siły, które je wyniosły tam, gdzie się obecnie znajdują.

813 Skały magmowe powstają w wyniku ostygnięcia stopionej magmy wypływającej z wnętrza ziemi – na przykład z wulkanów lub szczelin. Są to skały „formowane w ogniu”. Przykładami skal magmowych są granit, obsydian i pumeks.

814 Skały metamorficzne tworzą się wskutek przeobrażenia istniejących już postaci skal w wyniku procesów geologicznych. Kiedy na przykład skała znajdzie się na większej głębokości, zostaje wystawiona na działanie wysokich temperatur i ciśnienia, a także aktywność chemiczną. Te czynniki mogą spowodować zmiany we wzajemnym ułożeniu atomów względem siebie lub zastąpienie jednych atomów innymi (patrz niżej), co zmienia charakter skały. Na przykład marmur był pierwotnie drobnoziarnistym wapieniem, który został przeobrażony wskutek działania ciśnienia i temperatury.

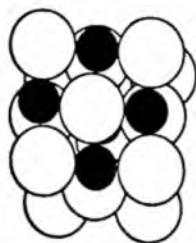
Pytanie

Z jakiego rodzaju skal jest zbudowane dno oceanów? Odpowiedź: Dno oceaniczne tworzy się przez wypływ magmy na granicach dywergentnych między płytami. Dno oceaniczne tworzą więc skały magmowe.

Minerały

815 Minerale są podstawowymi składnikami skał. Mineral to nieorganiczne ciało stałe o uporządkowanej budowie wewnętrznej i ustalonym składzie chemicznym. Obecnie poznano ponad trzy tysiące minerałów i każdy z nich ma swoją nazwę.

816 O budowie minerałów decydują przede wszystkim rozmiary atomów wchodzących w ich skład. Na przykład kształt sześcianu, jaki przyjmuje chlorek sodu (zwykła sól kuchenna), wynika z faktu, że jony sodu są o wiele mniejsze niż jony chloru i mieszczą się w przerwach przez nie pozostawionych. Na rysunku przedstawiono kryształ soli z za-



Kryształ soli kuchennej. Duże białe kulki oznaczają atomy chloru, a małe czarne – sodu.

chowaniem właściwych proporcji między rozmiarami atomów chloru i sodu.

817 Kryształy to pospolite rodzaje minerałów. Mają regularne kształty i są piękne. Tak jak w innych minerałach – o ich geometrii decyduje sposób, w jaki są ułożone atomy wchodzące w ich skład. Płaszczyzny symetrii kryształów są odbiciem rozkładu atomów w ich wnętrzu. Tak więc ziarna soli kuchennej będą sześcianami, ponieważ rozkład atomów jest w nich taki, jak pokazano na rysunku. Bardziej złożone kształty powstają, gdy rozkład atomów jest nieznacznie zmieniony wskutek różnic ciśnienia lub temperatury podczas krystalizacji.

818 Budowa minerału może zostać zmieniona pod wpływem ciśnienia lub temperatury. Kiedy atomy są ściskane przez wysokie ciśnienie lub wystawione na działanie wysokich temperatur, mogą zmienić swoje rozmieszczenie w mineralu bez zmiany składu chemicznego. Zachowują nową orientację nawet wtedy, gdy ciśnienie i temperatura wrócą do wartości początkowych. Minerale mogą więc służyć jako

wskaźniki występowania w przeszłości wysokich temperatur i ciśnień.

819 Ziarna minerałów są zbudowane z atomów, a skały – z ziarn minerałów. Często

skały są zbudowane z więcej niż jednego minerału. Dotyczy to zwłaszcza skał osadowych, w skład których wchodzi ziarna wielu minerałów. Takim zlepkiem wielu ziarn różnych rodzajów minerałów jest piaskowiec.

Wody Ziemi

820 Wody na Ziemi tworzą obieg – cząsteczki wody znajdują się w ciągłym ruchu poprzez atmosferę ziemską, oceany i biosferę. Dzięki procesowi parowania cząsteczki wody opuszczają powierzchnię Ziemi i przechodzą do atmosfery, gdzie tworzą chmury. Z chmur wracają na Ziemię w postaci deszczu, śniegu lub lodu. Woda staje się także przejściowo składnikiem żywych organizmów lub jest magazynowana w zbiornikach wodnych, jak na przykład jeziora i oceany, lecz prędzej czy później powróci znów do obiegu.

Zasoby wody krążące we wszystkich układach na Ziemi uczeni często nazywają hydrosferą.

821 Woda słodka jest bogactwem naturalnym, ponieważ większość na Ziemi to słona woda w oceanach. W Stanach Zjednoczonych zużywamy tylko około 7 procent wody, która spada na powierzchnię kraju w postaci deszczu, 71 procent wraca do atmosfery wskutek parowania, 22 procent trafia do rzek i jezior, które stanowią ważne zbiorniki słodkiej wody. Prawie cała woda, jaką wykorzystujemy, pochodzi ze zbiorników podziemnych lub znajdujących się na powierzchni i dlatego są w niej rozpuszczone składniki organiczne i nieorganiczne. Kiedy w wodzie znajduje się zbyt wiele składników organicznych, ma ona nieprzyjemny zapach, zły smak i jest siedliskiem bakterii.

Oceany

822 Trzy czwarte powierzchni Ziemi pokrywają oceany – Ziemia oglądana z kosmosu wydaje się składać głównie z wody. Przez większość historii człowieka oceany były nieznanym obszarem. Dziś jest to temat szerokich badań naukowych.

Oceanografia, gałąź wiedzy poświęcona badaniu oceanów, obejmuje wszystkie dziedziny nauki. Przedmiotem jej zainteresowań jest bilans energetyczny i reakcje chemiczne zachodzące w oceanach (fizyka i chemia), a także żywe organizmy zamieszkujące oceany (biologia). Fizyczne i biologiczne procesy zachodzące w oceanach oddziałują na siebie wzajemnie i żaden z nich nie może być pominięty.

823 Wody w oceanach krążą. Ruch powierzchni wody w oceanie zachodzi głównie w ogromnych wirach. Woda w wirach na półkuli północnej porusza się zgodnie z ruchem wskazówek zegara, a na półkuli południowej – w kierunku przeciwnym. Składnikami wirów, które lepiej znamy, są wielkie prądy oceaniczne przemieszcza-

jące się na zewnętrznych obrzeżach tych wirów. Na przykład Golsztrum, biegnący od Florydy do Europy przez północny Atlantyk, jest fragmentem wiru północnoatlantyckiego. Golsztrum niesie ciepłą wodę z tropików do północnej Europy i jemu te regiony zawdzięczają klimat umiarkowany. Zimna woda wraca do tropików wzdłuż wybrzeży Europy i Afryki Północnej jako Prąd Kanaryjski.

824 Najczęściej im głębiej pod powierzchnią oceanu, tym woda jest zimniejsza. Światło słońca dociera tylko kilkaset metrów poniżej powierzchni oceanu, więc jest to jedyna strefa oceanu mająca własne źródło ciepła. Na głębokości 1000 m temperatura wody często wynosi już 4°C lub mniej. Warstwa przejściowa między ciepłymi wodami powierzchniowymi a zimnymi dennymi nazywana jest termokliną. Warstwa wyższa, cieplejsza, to warstwa mieszana.

825 Prawie cała „produkcja” oceanu odbywa się w warstwie mieszanej. Światło dostarcza energii potrzebnej do procesu fotosyntezy w roślinach, a ro-

śliny stanowią podstawę łańcucha pokarmowego zwierząt. Już kilkadziesiąt metrów pod powierzchnią oceanu spada drastycznie zdolność oceanu do podtrzymywania życia. Dlatego takie zbiorniki wodne jak zatoka Chesapeake, która ma nie więcej niż 200 m głębokości, są tak pełne życia.

826 Cyrkulacja wód w głębi oceanu nie jest zbyt szybka. Woda osiąga największą gęstość w temperaturze równej 4°C. Oznacza to, że woda na dnie oceanu ma tę właśnie temperaturę, a wyżej może mieć niższą. Z praktycznych względów głębiny oceanów stanowią ogromnych rozmiarów zbiornik, który w bardzo małym stopniu współdziała z resztą Ziemi.

827 Zimna woda z pół lodowych Antarktydy i Arktyki splywa na dno oceanu i tworzy wzdłuż dna powolny prąd. Prawie cała woda na dnie oceanu pochodzi z topiącego się lodu okolic obu biegunów. Woda ta następnie toruje sobie drogę w kierunku równika.

828 Przebieg cyrkulacji wód oceanicznych nie jest wieczny, ponieważ w geologicznej skali czasu zmieniają się same baseny oceanów. Na przykład 50 milionów lat temu oderwała się od Antarktydy Ameryka Południowa, otwierając dookoła bieguna przejście, które teraz jest nazywane Cieśniną Drake'a. Zdarzenie to pozwoliło na ustalenie się, zarówno w atmosferze, jak i w oceanach, prądów podbiegunowych na półkuli południowej. Prądy te z kolei mają ogromny wpływ na stan pogody bieguna południowego. Niektórzy uczeni twierdzą, że bez tych prądów nie byłoby na biegunie czapy lodowej.

829 W pierwszym przybliżeniu można traktować dno oceanu jako poziomą płaszczyznę na głębokości 3800 m poniżej poziomu morza. Oczywiście występują też rowy, wzniesienia, podwodne grzbiety górskie itp.

830 Każdy kontynent jest otoczony szelfem kontynentalnym. Jest to część kontynentu, która znalazła się pod

powierzchnią morza. Rozciąga się od kilkudziesięciu do kilkuset kilometrów od wybrzeża w morze. Woda nad szelfem jest płytka, więc regiony te są bardzo produktywne.

831 Kiedy duże ilości osadu kontynentalnym, to zsuwają się ze stoku kontynentalnego w głąb oceanu. Żłobią wtedy głębokie podwodne doliny i rowy. W czasie sphywania osadów w dół woda zawiera tak dużo materiału, że przypomina papkę – ani ciecz, ani ciało stałe. Jest to tzw. prąd zawieszinowy.

832 Poziom morza wcale nie jest dokładnie poziomy – nie jest płaski geometrycznie. Tam, gdzie pod dnem morskim znajdują się ogromne skupiska masy, siła grawitacji może (i robi to) ściągać powierzchnię wody w dół. Na przykład w środku Oceanu Indyjskiego istnieje dół o głębokości około 300 m. Średnica dołu wynosi tysiące kilometrów, nie można go więc zaobserwować, płynąc po oceanie.

Chemia oceanów

833 Morze jest słone, lecz nie staje się coraz bardziej słone. Charakterystyczny smak wody morskiej pochodzi od rozpuszczonych w niej wielkich ilości chlorku sodu (zwyczajnej soli kuchennej) wraz z innymi minerałami.

Kiedyś wyobrażano sobie, że morze jest pasywnym kotłem, do którego rzeki przynoszą z lądu minerały i w którym koncentracja tych minerałów rośnie wskutek parowania wody. Nie jest to prawda. Dowody, jakie znaleźli uczeni w starych pokładach soli, przekonały ich, że oceany przed milionami lat były nie mniej słone, niż są dzisiaj.

834 Atomy różnych pierwiastków wpadają do morza, zostają w nim pewien czas, a potem są usuwane z wody w wyniku takich czy innych reakcji chemicznych. Na przykład kiedy wapń pochodzący z wietrzenia wapienia znajdzie się w morzu, stanie się częścią szkieletów organizmów morskich. Po śmierci tych organizmów szkielety ich spadają na dno i zaczyna się tworzyć

nowy wapień, który może być wzniesiony do góry i znów wystawiony na wietrzenie. Żaden atom nie pozostaje w morzu na zawsze.

Średni czas pozostawania atomu danego pierwiastka w oceanie nazywa się czasem rezydencji. Czas rezydencji dla wapnia wynosi 850 000 lat, podczas gdy dla sodu – 48 milionów lat.

835 O chlorze mówi się, że jego czas rezydencji jest nieskończony, lecz to prowadzi do nieporozumień. W rzeczywistości chlor przedostaje się do atmosfery w postaci rozpylonej soli i spada z powrotem do oceanu z deszczem. Tak więc dany atom chloru nie musi pozostawać

w oceanie cały czas, mimo że ilość chloru w oceanie jest stała.

836 Zasolenie oceanu wprowadziło kiedyś uczonych w błąd. Wierząc, że morza stawały się coraz bardziej słone, uczeni w XVIII i XIX w. próbowali oszacować wiek Ziemi na podstawie pomiarów ilości soli wprowadzanej do oceanu. Obliczali, ile czasu musiało upłynąć, zanim morze osiągnęło obecny poziom zasolenia. Sądziło, że otrzymali czas życia Ziemi wynoszący około 100 milionów lat. Dzisiaj wiemy, że obliczali czas jednego obiegu materii, a nie wiek Ziemi.

Atmosfera, pogoda i klimat

Atmosfera

837 Atmosfera ziemską rozciąga się kilkaset kilometrów w przestrzeń, chociaż trzy

czwarte jej masy znajduje się w warstwie rozciągającej się na kilka kilometrów od powierzchni Ziemi. Atmosfera składa się obciążeniowo z 78 procent azotu i 21 procent tlenu. Pozostałe gazy to:

argon (0,9%), dwutlenek węgla (0,03%) i zmienne ilości pary wodnej wraz z pyłem i innymi zanieczyszczeniami.

Niższa część atmosfery, tj. ta część, w której spędzamy większość naszego życia, jest nazywana troposferą. Grubość jej wynosi od 6 do 8 km w strefach biegunowych do 16–18 km nad równikiem. Ponad nią znajduje się warstwa znacznie bardziej rozrzedzonego powietrza, nazywana stratosferą, która sięga do wysokości około 50 km. Temperatura w troposferze spada cały czas wraz z wysokością. W stratosferze początkowo pozostaje stała, a następnie wzrasta (wzrost temperatury jest związany z pochłanianiem promieniowania ultrafioletowego przez ozon – przyp. tłum.).

Ponad górnym zasięgiem stratosfery rozciąga się w przestrzeń warstwa o coraz mniejszej gęstości, by w końcu zlać się z materią międzyplanetarną. Na wysokości mniej więcej 60–300 km rozciągają się warstwy, w których światło słoneczne, a także wysyłane przez Słońce promienie ultrafioletowe i rentgenowskie wytwarzają dużo jonów. Warstwy te odbijają fale radiowe i odgrywają ważną rolę w łączności dalekiego zasięgu.

Całą sferę od wysokości 60 do 300 km nad powierzchnią Ziemi nazywamy jonosferą.

838 Przyczyną cyrkulacji atmosfery jest fakt, że strefa tropików jest cieplejsza niż strefa podbiegunowa. To wystarczy, aby powstała klasyczna komórka konwekcyjna. Ciepłe powietrze podnosi się na równiku i górą przemieszcza w kierunku bieguna, podczas gdy zimne powietrze opada i przemieszcza się dołem w kierunku równika. Gdyby Ziemia się nie obracała, na półkuli północnej przeważałyby wiatry wiejące w kierunku południa, a na półkuli południowej – odwrotnie, czyli w takim kierunku, w jakim przemieszczałyby się chłodne masy powietrza od biegunów ku równikowi.

839 Przeważające wiatry zachodnie, pasaty i tym podobne zjawiska powstają wskutek obrotów Ziemi, które spowodowały powstanie na półkuli północnej (i południowej) trzech komórek konwekcyjnych (inaczej byłaby tylko jedna) – jednej w strefie tropików, drugiej w strefie umiarkowanej, a trzeciej na biegunie. Obroty Ziemi tak rozciągają te komórki, że wiatry po-

wierzchniowe wieją na wschód i na zachód. Blisko tropików wiatry powierzchniowe wieją na zachód. Jest to obszar pasatów (angielska nazwa – *trade winds* – wiatry handlowe). Wykorzystywały je żaglowce zmierzające do Nowego Świata. Na średnich szerokościach półkuli północnej przeważają wiatry nadchodzące z zachodu. Dlatego, jeżeli chcesz wiedzieć, jaka pogoda będzie za kilka dni na wschodnim wybrzeżu Stanów Zjednoczonych, sprawdź, jaka jest na środkowym zachodzie. W trzeciej komórce konwekcyjnej, w regionie północnej Arktyki, wieją wiatry nadchodzące ze wschodu.

Gdyby planeta obracała się bardzo szybko, mogłoby powstać wiele komórek konwekcyjnych, na przykład Jowisz ma ich jedenaście.

840 Na obszarach leżących na granicach komórek konwekcyjnych prawie nie ma wiatrów wiejących równoległe do powierzchni – cały ruch powietrza odbywa się w górę i w dół. W czasach żaglowców unikano pływania w takich obszarach. Region stagnacji w pobliżu równika

nazywany jest pasem ciszy i statki, które doń wpłynęły, mogły być pozbawione wiatru przez długi czas. Obszar stagnacji między tropikami a strefą umiarkowaną był nazywany końskimi szerokościami. Na temat pochodzenia tej nazwy krąży wiele opowieści. Ta, którą słyszałem (i nie będę się upierał przy jej prawdziwości), jest następująca. Zatrzymane w tych regionach statki żeglujące do Nowego Świata musiały pozbywać się swojego ładunku, czyli koni, w miarę jak brakło dla nich paszy, i widok końskiej padliny na tych szerokościach był powszechny. Pamiętając, że wody te są pełne rekinów, potraktowałbym tę historię z przymrużeniem oka.

841 Prąd strumieniowy oddziela zimne i ciepłe masy powietrza. Jest to szybki wiatr w górnej warstwie troposfery. Ma postać spłaszczony rury długości kilku tysięcy kilometrów, szerokości 150 km lub większej i grubości kilku kilometrów. W przybliżeniu wyznacza on granice między arktyczną masą powietrza a cieplejszym powietrzem

szerokości średnich. Prąd strumieniowy krąży na półkuli północnej równoleżnikowo w kierunku zachodnim.

Tylko wtedy ów prąd powietrza nazywamy strumieniowym, gdy prędkość w tzw. osi, czyli linii, gdzie jest największa, wynosi 30 m/s lub więcej. Zakłócenia w tym strumieniu mogą być przyczyną kaprysów pogody. Na przykład nagle, przedłużające się okresy zimna pojawiające się zimą w Ameryce Północnej często są wynikiem przemieszczeń prądu strumieniowego.

842 Prąd strumieniowy odkryto podczas drugiej wojny światowej, kiedy samoloty wojskowe, zdolne do rozwijania prędkości 500 km na godzinę lub większej, pozostawały w pozycji stacjonarnej względem Ziemi nawet wtedy, gdy miały całkowicie otwarte przepustnice. Samoloty te nie chcący dostały się w prąd strumieniowy i próbowały lecieć „pod prąd”.

843 Cyrkulacja atmosfery jest odpowiedzialna za długoterminowe zmiany pogody

na Ziemi, ponieważ decyduje o pokrywie chmur, deszczach i temperaturze na powierzchni. Chciałbym stwierdzić, że badacze dobrze rozumieją cyrkulację ziemskiej atmosfery, ale nie mogą. Mamy bowiem modele komputerowe nazywane GCM (*general circulation models*), które potrafią przewidzieć znaczące światowe trendy, lecz zawodzą, gdy trzeba opisać ich skutki dla danego regionu (np. suszy na środkowym zachodzie). Modele te nie są jeszcze wystarczająco dobre, aby móc im ufać.

Pogoda i klimat

844 Pogoda dotyczy zjawisk krótkoterminowych, klimat zaś – długoterminowych. Pogodę określa dobowy stan takich parametrów, jak temperatura, wilgotność, opady. Klimat to długotrwałe trendy tych samych wielkości.

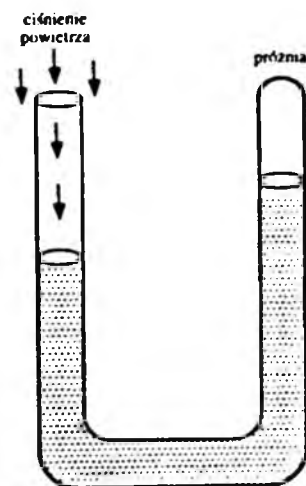
845 Front atmosferyczny jest linią podziału między ciepłymi i zimnymi masami powietrza. Przejście frontu z reguły oznacza zmianę pogody. Na przykład zbliżająca się masa zim-

nego powietrza zaczyna się wślizgiwać pod powietrze cieplejsze, podnosząc je i powodując tworzenie się chmur, z których prawdopodobnie spadnie deszcz lub śnieg. Nadejście ciepłego powietrza do obszaru zajętego poprzednio przez zimne może zmusić ciepłe powietrze do wzniesienia się ukośnie ponad klin, jaki stanowi skrajna część ustępującego zimnego powietrza, co przyniesie jeden lub dwa dni mżawki.

846 W skali kontynentów lub nieco mniejszej o ruchach powietrza decyduje istnienie obszarów o wysokim i niskim ciśnieniu. Powietrze odpływa z obszarów o wysokim ciśnieniu i napływa do obszarów o ciśnieniu niskim pod wpływem siły wywołanej różnicą ciśnień. Taki ruch powietrza decyduje o zmianach pogody z dnia na dzień.

847 Ciśnienie powietrza jest mierzone za pomocą barometrów. Barometr jest rurką częściowo wypełnioną cieczą. Jedno ramię rurki jest otwarte na powietrze, a w drugim, zamkniętym, nad powierzchnią cieczy znajduje się próżnia. Wysokość słupa cieczy (zazwyczaj rtęci) równoważy ciśnienie kolumny po-

wietrza nad otwartym końcem rurki i rośnie lub maleje wraz ze zmianami ciśnienia atmosferycznego. „Opadanie barometru” odpowiada sytuacji, w której ciśnienie spada. Zwykle sygnalizuje to nadchodzący sztorm. „Podnoszenie się barometru” oznacza, że ciśnienie rośnie i nadchodzi dobra pogoda.



Barometr.

848 Wzrost i spadek zawartości pary wodnej w powietrzu jest ważnym czynnikiem decydującym o pogodzie. Jeżeli z jakichś powodów para wodna w powietrzu ulega kondensacji (np. powietrze się ochłodzi), to w powietrzu uwalnia się energia.

Jeżeli natomiast woda w stanie ciekłym paruje, to ciepło jest z powietrza usuwane. Oznacza to, że zmiana stanu z cieczy do pary odpowiada zmianie energii. Proces ten ma duży wpływ zarówno na dobrą pogodę, jak i warunki sztormowe.

849 I wiatry, i opady na danym terenie zależą od ukształtowania powierzchni. Przykładem może być tu „cień opadowy” gór. Jeżeli masa powietrza zbliża się do łańcucha gór, to musi się wzniesić, aby je przekroczyć. Powietrze wtedy ochładza się i zawarta w nim para wodna ulega kondensacji, co powoduje opady deszczu. Po drugiej stronie gór nie ma już w powietrzu pary wodnej, więc opady deszczu są niezwykle rzadkie. Wiele jałowych regionów na zachodzie Stanów Zjednoczonych leży właśnie w „cieniu opadowym” różnych odgałęzień łańcuchów Gór Skalistych i Sierra Nevada.

850 Powietrze przepływa od obszarów o wysokim ciśnieniu do obszarów o niskim ciśnieniu po torach zakrzywionych. Jest to skutek rotacji Ziemi. Przypuśćmy, że niskie ciśnienie panuje

w Miami, a wysokie w Nowym Jorku. Powietrze znad Nowego Jorku kieruje się na południe. Podczas gdy jest ono w drodze, rotacja Ziemi przeniesie Miami dalej na wschód, niż było pierwotnie. Powietrze przemieszczające się ku niskiemu ciśnieniu będzie musiało nadążyć za zmianami kierunku, w miarę jak Ziemia przynosi Miami coraz dalej i dalej. Wynikiem tego jest tor, po którym przemieszcza się powietrze, zakrzywiony przeciwnie do kierunku ruchu wskazówek zegara.

Chociaż odchylenie od toru prostoliniowego jest skutkiem ruchu obrotowego Ziemi, fizycy wyobrażali sobie dawniej, że na powietrze działa siła. Nazwali ją siłą Coriolisa, od nazwiska francuskiego uczonego Gasparda de Coriolisa (1792–1843).

Pytanie

W jakim kierunku płynie powietrze ku obszarowi niskiego ciśnienia na półkuli południowej? Odpowiedź: Zgodnie z ruchem wskazówek zegara.

851 Huragany są wynikiem powstania obszaru niskiego ciśnienia nad oceanem. Ciepłe, wilgotne powietrze znad powierzchni oceanu wpływa w obszar niskiego ciśnienia i jest wypychane ku górze przez powietrze nadciągające w ślad za nim. Podczas wznoszenia następuje ochłodzenie i kondensacja pary wodnej. Energia, jaka powstaje w czasie tej transformacji, wystarcza na podtrzymanie ruchu huraganu. Huragany „tuczą” się na ciepłych wodach i mogą się rozbudować do imponujących rozmiarów.

że obecnie huragany mają imiona męskie i żeńskie na przemian. Nie będziemy mieć nigdy huraganu Zelta (lub Zeke), ponieważ rzadko się zdarza, by na Atlantyku powstało więcej niż tuzin huraganów rocznie.

853 Huragany, tajfuny i monsuny to zupełnie różne wiatry. Sztorm, taki jak wyżej opisano, jest nazywany huraganem, jeżeli powstaje nad Atlantykem, a tajfunem, jeżeli zdarza się na Pacyfiku. Oba typy sztormów mają wspólną nazwę „cyklony tropikalne”.

Monsun, wbrew podobieństwu nazwy, nie jest pojedynczym sztormem, lecz nazwą wiatrów przynoszących porę deszczową na subkontynent indyjski.

854 Tornada, podobnie jak także związane z szybką rotacją powietrza, chociaż mają o wiele mniejszy zasięg (tornado jest amerykańską nazwą trąby powietrznej – przyp. tłum.). Tworzą się na styku ciepłej i zimnej masy powietrza, gdy ciepła warstwa powietrza znajdzie się pod zimną. Kiedy masy te próbują zamienić

Pytanie

Dlaczego nie ma huraganów w Kansas? Odpowiedź: Huragan może się przemieszczać nad lądem tylko na niewielkie odległości, ponieważ szybko wytraca energię. Kansas jest zbyt daleko w głębi lądu.

852 Nadawanie nazw huraganom rozpoczęło się w Wojskowej Służbie Meteorologicznej podczas drugiej wojny światowej. Początkowo huragany otrzymywały imiona żeńskie – Abigail, Betty, Claudia itp. Walka o równouprawnienie kobiet sprawiła,

się miejscami, powstają gwałtowne wiry powietrzne. Zwykle najpierw formuje się front burzowy, a następnie tworzy się charakterystyczny lej między ciemną podstawą chmur a Ziemią. W Stanach Zjednoczonych tornado pojawiają się najczęściej na środkowym zachodzie podczas wiosennego „sezonu tornad”.

855 Pomimo różnic w wyglądzie wszystkie chmury składają się z pary wodnej, a niekiedy z kryształków lodu. Para wodna w chmurach jest bardzo rozrzedzona. Typowa kłębiasta, biała chmura – cumulus, jaką można zobaczyć w letnie popołudnie, zawiera nie więcej niż 100 do 150 litrów wody – zaledwie tyle, ile trzeba do wypełnienia wanny, chociaż bywa, że chmura ta ma kilka kilometrów średnicy.

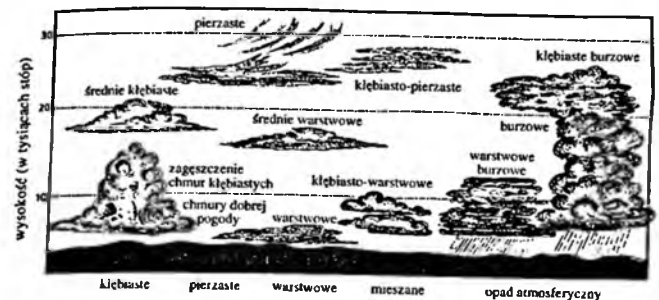
Tworzenie się chmur jest związane głównie z ruchami wznoszącymi powietrza. Kiedy ciepłe powietrze wznosi się, osiąga w końcu wysokość, na której temperatura jest tak niska, że powietrze nie może dłużej utrzymać zawartej w nim pary wodnej. W tym miejscu z kropelek wody zaczyna powstawać chmura. Ciepłe powietrze nadal się wznosi i traci wilgoć, dopóki nie znajdzie się

w stanie równowagi z otaczającym powietrzem.

Pytanie

Dlaczego wydaje się, że danego dnia podstawa wszystkich chmur znajduje się na tej samej wysokości? Odpowiedź: Wszystkie prądy wznoszące oziębiają się do tej samej temperatury na tej samej wysokości. Jest to poziom kondensacji, który wyznacza podstawę chmur.

856 Istnieje wiele rodzajów chmur. Każdy z nich odpowiada innym warunkom pogodowym. Białe chmury kłębiaste widoczne na niebie w letni dzień to cumulusy utworzone z kropelek wody w ciepłym, wznoszącym się powietrzu. Chmury warstwowe, obserwowane na niebie w pochmurny dzień, noszą nazwę stratusów (po łacinie oznacza to „rozciągnięte”) i powstają, gdy wypyływa do góry bardzo rozległa warstwa powietrza. Pierzaste chmury wysoko na niebie to cirusy. Zwykle poprzedzają zmianę pogody i często składają się wyłącznie z kryształków lodu. Z reguły występują na wysokości powyżej 9 km nad ziemią. Ciemne,



Chmury.

kłębiaste chmury burzowe – cumulonimbusy, można zobaczyć przed burzą (patrz rysunek). Warto zwrócić uwagę, że chmury burzowe są bardzo wysokie, ich podstawa znajduje się zwykle 1,5 km nad ziemią, a szczyt ponad 10–18 km wyżej. Chmury te mogą przebijać górną granicę troposfery.

Różne rodzaje chmur znajdują się na różnych wysokościach, co zostało pokazane na rysunku.

857 Ludzie zaczęli nadawać nazwy chmurom dopiero w XVIII stuleciu. Obecnie znamy tysiące rozmaitych odmian podstawowych rodzajów chmur (patrz rysunek). Odmiany te zostały ska-

talogowane w dwutomowej publikacji pod tytułem *Międzynarodowy atlas chmur*.

Tajemnica

858 W jaki sposób następuje rozdział ładunku elektrycznego w chmurze burzowej? Od odkrycia przez Beniamina Franklina elektrycznej natury pioruna uczeni próbowali, bez wielkiego powodzenia, poznać budowę chmury burzowej. Istnieją na ten temat dwie grupy teorii. Według teorii opadu rozdział ładunku w chmurze następuje, gdy opadające pod wpływem siły grawitacji cząstki wody lub lodu,



Budowa chmury burzowej.

zderzając się z lżejszymi cząstkami (które nadal są zawieszone w chmurze), wymieniają ze sobą ładunki w ten sam sposób, w jaki tarcie wywołuje rozdział ładunków. Spadające krople otrzymują ładunek ujemny, podczas gdy te, które pozostały wyżej, stają się dodatnie. Teorie konwekcji głoszą, że lekkie, dodatnio naładowane cząsteczki są unoszone w górę przez prądy konwekcyjne w chmurze, podczas gdy ciężkie, ujemnie naładowane cząsteczki są niesione w dół przez prąd zstępujący. Żadna z tych teorii nie

tłumaczy w pełni złożonej budowy chmury burzowej.

Większość badań chmur burzowych skupia się obecnie na studiowaniu zderzeń między cząsteczkami lodu o różnych rozmiarach i przenoszeniu ładunków elektrycznych, które tym zderzeniom towarzyszą.

859 Rozdział ładunków w chmurze burzowej jest przyczyną powstawania piorunów. Duży ujemny ładunek w dolnej części chmury indukuje na powierzchni ziemi ładunek dodatni.

W wyniku tego zjawiska powstaje pod chmurą na powierzchni Ziemi obszar ładunku dodatniego.

Kiedy ładunek w chmurze jest wystarczająco duży, aby wytworzyć silne pole elektryczne zdolne do zjonizowania powietrza, rozpoczyna się wyładowanie w chmurze – powstaje kanał zjonizowanego powietrza, który nazywamy liderem. Ponieważ zjonizowane powietrze w tym kanale jest dobrym przewodnikiem, ładunek ujemny biegnie nim w dół. Proces ten przemieszcza się w kierunku ziemi skokowo: co kilkaset metrów następuje chwilowe jego zatrzymanie. Gdy lider dotrze do wysokości około 100 m, silne dodatnie pole elektryczne powstałe na wystających obiektach może wytworzyć wyładowanie oddolne, biegnące na spotkanie lidera. W wyniku spotkania ujemnego lidera nadlatującego z chmury z dodatnim wyładowaniem oddolnym powstaje bardzo dobrze przewodzący kanał między ujemnym ładunkiem chmury a dodatnim ładunkiem Ziemi. Nic już wtedy nie może powstrzymać przepływu dodatniego ładunku do chmury, który neutralizuje jej ładunek ujemny. Skutki tego przepływu widzimy w postaci

błyskawicy. Energia, rozproszona w wyniku oporu zjonizowanego kanału, rozgrzewa powietrze i powiększa jego objętość. Powietrze oziębia się i wraca, powodując grzmot.

860 Ilość ładunku rozdowywanego w piorunie nie jest bardzo duża – prawie taka, jaka płynie w termosie w czasie jednej sekundy. Ponieważ jednak piorun trwa tylko mały ułamek sekundy, jego moc jest ogromna. Typowy piorun wytwarza moc równą kilkuset megawatom – tak dużą, jak reaktor jądrowy średniej wielkości.

861 W wysokie drzewa i budynki pioruny mogą uderzać wielokrotnie. Piorun uderza, gdy powstaje zjonizowana droga między chmurą a ziemią, umożliwiającą wystąpienie wyładowania. Jest ono tym łatwiejsze, im krótsza jest ta droga. Empire State Building w Nowym Jorku był uderzony przez pioruny setki razy.

862 Piorunochron wynaleziony przez Benjamina Franklina to metalowy pręt umieszczony na szczycie budynku i połączony z ziemią przewodem przewodzącym prąd. Dzięki temu prąd po uderzeniu pioruna przepływa przez ten przewód, a nie przez budynek.

Klimat

863 W różnych okresach geologicznych klimat ziemski radykalnie się zmieniał. W długich odstępach czasu o klimacie decydowały ruchy kontynentów. W nieco krótszej skali czasu przełomowe znaczenie dla klimatu miały takie czynniki geologiczne, jak powstawanie płytkich mórz. Wpływ tych mórz na klimat jest duży, ponieważ wody absorbują więcej energii słonecznej, podczas gdy lądy więcej odbijają. Dlatego 65 milionów lat temu, kiedy na zachodzie Stanów Zjednoczonych rozciągało się ogromne morze śródładowe, klimat Ameryki Północnej był o wiele cieplejszy niż dziś.

864 Zmienność Słońca również miała wielki wpływ na klimat. Uczeni sądzą, że zmiana

jasności Słońca – być może mniejsze niż 1 procent – są procesem powtarzającym się regularnie. Zmiany tego rzędu powinny wywrzeć znaczący wpływ na klimat, chociaż na razie jeszcze nie wiemy, jaki.

865 Kilka razy w historii Ziemi następowało raptowne nadejście epoki lodowcowej. Nasze czasy właściwie też są epoką lodowcową. Najnowsza teoria głosi, że za zlodowacenia odpowiadają małe (lecz regularne) zmiany kształtu orbity Ziemi i kierunku jej osi. Kiedy oba te małe efekty wzmacniają się wzajemnie, zaczyna gromadzić się więcej śniegu zimą, niż topnieje latem. Gdy więcej śniegu leży w lecie, śnieg ten odbija więcej ciepła, zimą znów go przybywa i coraz więcej zostaje latem itd. Kiedy tak się dzieje, powstają lodowe czapy na biegunach i w wysokich górach, a następnie pokrywają coraz większe obszary kontynentów. Proces ten jest nazywany cyklem Milankovića, od nazwiska serbskiego inżyniera, który pierwszy go zrozumiał.

866 Zaburzenie klimatu, zwane El Niño, nadchodzi

regularnie co 2 do 7 lat. Nazwa pochodzi od hiszpańskiego słowa oznaczającego „Dzieciątka Jezus”, ponieważ pogoda zaczyna się zmieniać mniej więcej w czasie Bożego Narodzenia. El Niño rozpoczyna się ociepleniem wód na zachodnim wybrzeżu Ameryki Południowej i powoduje zmiany pogody na całej półkuli zachodniej. W latach 1982–1983, na przykład, odnotowano duże powodzie w Ameryce Południowej i wielkie sztormy na wybrzeżu Kalifornii.

Niektórzy uczeni twierdzą, że przyczyną susz w 1988 r. był także El Niño.

Według najnowszej teorii za oscylację El Niño odpowiada ruch wirowy wód Oceanu Spokojnego, podobny do tego w twojej wannie. Kiedy woda ciepła na powierzchni nadpływa do Ameryki Południowej, powstają takie wiatry, które chcą odepchnąć tę wodę na zachód. W ich wyniku ciepła woda przez pewien czas pozostaje w miejscu. Po odpłynięciu ciepłej wody napływa znów zimna, która jest charakterystyczna dla tego regionu, i pogoda wraca do normy. Cykl ten powtarza się już od dawna i wydaje się trwałą właściwością ziemskiego klimatu.

Problemy związane z klimatem

867 Zawartość w atmosferze dwutlenku węgla i innych gazów odpowiedzialnych za „efekt cieplarniany” jest także czynnikiem decydującym o klimacie. Gazy te są przezroczyste dla światła widzialnego, lecz absorbują podczerwień. Wskutek ich obecności energia, która normalnie zostałaby wypromieniowana z Ziemi w przestrzeń, pozostaje uwięziona w atmosferze, nadmiernie ją ogrzewając. Uważa się, że Wenus jest tak gorąca właśnie w wyniku efektu cieplarnianego.

868 Efekt cieplarniany jest wielkim problemem naszych czasów. Każda jazda samochodem, każde zapalenie piecyka gazowego to dodanie dwutlenku węgla do atmosfery. Spalając paliwa kopalne, ludzie są na dobrej drodze do wywołania nagłego ocieplenia atmosfery ziemskiej. Odpowiedź na pytanie: „Czy ocieplenie klimatu już się rozpoczęło?” – jest nadal kwestią sporną, lecz rozsądne wydaje się rozumowanie, że jeżeli nadal będziemy wypuszczać do atmosfery

dwutlenek węgla i inne gazy, to w końcu ocieplenie nastąpi. Obecnie szacuje się, że w wyniku efektu cieplarnianego temperatura wzrośnie przeciętnie o kilka stopni Celsjusza, prawie o tyle, o ile wzrosła temperatura po ostatniej epoce lodowcowej. Znalazienie sposobu powstrzymania tego procesu jest dziś zadaniem priorytetowym o szczególnej wadze. Nie możemy zmienić termodynamiki atmosfery, więc podejmuje się wysiłki, aby zmniejszyć emisję dwutlenku węgla i zapobiec niszczeniu lasów, które pochłaniają dwutlenek węgla, przetwarzając go w swoje tkanki.

869 Wysoko w stratosferze znajduje się cienka warstwa ozonu, związku, którego cząsteczki składają się z trzech atomów tlenu. Tylko warstwa ozonu pochłania promienie ultrafioletowe Słońca, więc jej istnienie jest nadzwyczaj ważne dla życia na Ziemi. Ostatnio emisja do atmosfery związków chemicznych, znanych jako chlorofluorowe pochodne węglowodorów (CFC), czyli freony, spowodowała reakcje katalityczne w stratosferze, w wyniku których grubość warstwy ozonowej zmalała.

W 1984 r. badacze zaobserwo-

wali znaczne zmniejszenie grubości warstwy ozonowej nad Antarktydą w czasie miesięcy wiosennych. Ta „dziura ozonowa” powstała wskutek kombinacji zdarzeń charakterystycznych dla polarnego regionu otaczającego biegun południowy i jest związana z reakcjami zachodzącymi na kryształkach lodowych w polarnych obłokach stratosferycznych, które tworzą się podczas miesięcy ciemności.

W 1986 r. na międzynarodowym zjeździe w Montrealu podjęto uchwałę wzywającą do zmniejszenia zużycia CFC o 50 procent i dalszego podjęcia problemu ozonu w 1990 r. Postanowienia o całkowitej eliminacji CFC zapadną prawdopodobnie w najbliższej przyszłości. Problem ozonu, w przeciwieństwie do efektu cieplarnianego, może zostać rozwiązany względnie małym kosztem.

870 Kiedy spala się węgiel, do atmosfery są emitowane, oprócz dwutlenku węgla, również związki siarki i azotu. Podobne zanieczyszczenia znajdują się także w spalinach samochodowych. W powietrzu związki siarki i azotu ulegają reakcjom chemicznym, w wyniku których powstaje kwas

siarkowy i azotowy. Kwasy te spadają później z deszczem. Są to tzw. kwaśne deszcze, odpowiedzialne za wiele zjawisk szkodliwych dla środowiska. Powodują one niszczenie lasów na północnym wschodzie Stanów Zjednoczonych i Kanady (choć o roli tych deszczów na tym obszarze

jeszcze się ciągle dyskutuje), a także w zachodniej i środkowej Europie, oraz niszczenie domów i pomników na całym świecie. Jedną z metod zwalczania kwaśnych deszczów jest usuwanie zanieczyszczeń z dymów pieców spalających węgiel, a także ze spalin samochodowych.

7

Astronomia

Gwiazdy

871 Gwiazdy, jak wszystko inne, rodzą się, żyją i umierają. Dopiero w XIX w. ludzie zorientowali się, że nie mogą one trwać wiecznie. Ponieważ wysyłają energię w przestrzeń w sposób ciągły, energia ta musi pochodzić z jakiegoś źródła. Teraz wiemy, że Słońce – podobnie jak większość gwiazd – wytwarza energię, zużywając („spalając”) wodór w reakcji termojądrowej. Jednak nawet w tak ogromnym ciele jak Słońce ilość paliwa jest ograniczona. Słońce – jak ognisko pod koniec wieczora – kiedyś przestanie płonąć i umrze.

Podjęto kilka interesujących prób wyjaśnienia, skąd się bierze energia wytwarzana przez Słońce. W XIX stuleciu uczeni wykazali, że gdyby Słońce składało się z czystego antracytu (było to najlepsze paliwo, jakie znano w owym czasie), to przy tak wielkiej ilości wysyłanej energii przetrwałoby tylko 10 000 lat.

872 Źródłem energii gwiazd jest synteza termojądrowa. Głęboko we wnętrzu Słońca jądra wodoru wchodzą ze sobą w szereg reakcji, których produk-

tem końcowym jest hel i pewien nadmiar energii. Proces syntezy termojądrowej rozpoczął się w Słońcu wkrótce po jego powstaniu i od tego czasu Słońce zużywa wodór z prędkością 700 milionów ton na sekundę. Większość gwiazd wytwarza energię w ten sposób przez niemal całe swoje życie i dopiero po wyczerpaniu wodoru przechodzi do innych źródeł energii.

873 Energia, jaką niesie światło słoneczne wpadające teraz do twojego okna, powstała w jądrze Słońca 30 000 lat temu – wkrótce potem, jak ostatni neandertalczyk zniknął ze sceny. Większość tego czasu światło zużyło na powolne torowanie sobie drogi poprzez wielkie zagęszczenie atomów wewnątrz Słońca. Potem odbyło jeszcze tylko krótki, ośmiominutowy sprint przez pustą przestrzeń, by znaleźć się na Ziemi.

874 Życie gwiazdy jest walką między spalaniem jądro-

wym a grawitacją. Siła grawitacji zawsze chciałaby ściągnąć gwiazdę do punktu. Przez pewien czas – dokładnie tyle, na ile starczy paliwa – gwiazda może zachować nietrwałą równowagę, zużywając energię z reakcji jądrowych do zrównoważenia procesu kurczenia się. Życie każdej gwiazdy jest walką między tymi dwoma konkurencyjnymi procesami. Paliwo musi się kiedyś wyczerpać i wtedy zwycięży grawitacja. Mówiąc o śmierci gwiazdy, mamy na myśli właśnie zwycięstwo grawitacji.

875 Nie wszystkie gwiazdy są podobne do Słońca. Jeżeli wyobrazisz sobie Słońce jako kulę o rozmiarach piłki koszykowej, to rozmiary wszystkich innych gwiazd będą się mieścić w granicach od ziarenka piasku do dużego budynku. Gwiazdy różnią się jasnością, barwą i wieloma innymi cechami. Wśród całej tej różnorodności Słońce jest gwiazdą bardzo zwyczajną. Ma przeciętny wiek, skład chemiczny i jasność. Absolutnie nic nie różni Słońca od jego współbraci w Drozdzie Mlecznej.

Diagram H.-R.

Diagram Hertzsprunga-Russella (H.-R.), stworzony przez amerykańskiego astronoma Henry'ego Russella i norweskiego astronoma Ejnara Hertzsprunga, odzwierciedla ogromną różnorodność gwiazd. Na pionowej osi tego diagramu odłożona jest jasność gwiazd, a na osi poziomej – barwa gwiazdy lub temperatura. Każda gwiazda pojawia się na tym wykresie jako pojedynczy punkt – na prezentowanym poniżej diagramie H.-R. pokazano strzałką przybliżoną pozycję Słońca.

Większość gwiazd znajduje się na linii biegnącej od lewego górnego rogu do dolnego prawego. Linie tę nazwano ciągiem głównym, a gwiazdy na niej (jak np. Słońce) – gwiazdami ciągu głównego. Gwiazdy znajdujące się w prawym górnym rogu diagramu H.-R. są chłodne, lecz wysyłają dużo światła, są to tzw. czerwone olbrzymy. Gwiazdy w lewym dolnym rogu diagramu mają małą jasność, lecz są gorące. Nazwano je białymi karłami.

Diagram H.-R. 323

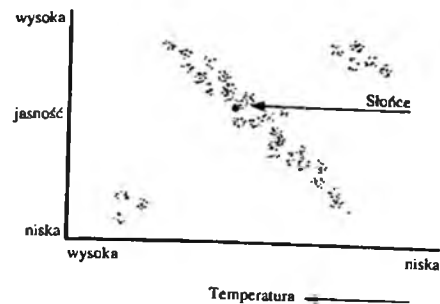


Diagram Hertzsprunga-Russella. Uwaga: temperatura została odłożona na osi poziomej w odwrotnym kierunku niż zwykle, tzn. od prawej do lewej.

876 Słońce jest gwiazdą w średnim wieku. Spalanie wodoru rozpoczęło się około 4,6 miliarda lat temu i przeżyło już połowę przewidywanego czasu życia. Wiek, podobnie jak inne cechy, czyni Słońce gwiazdą typową.

877 Gwiazdy mają tendencję do występowania w skupiskach. Mniej więcej dwie trzecie gwiazd, które widać, to gwiazdy podwójne, czyli układy dwóch gwiazd obiegających wspólny środek masy. W galaktykach gwiazdy także nie występują pojedynczo, lecz tworzą wiele dużych skupisk liczących kilkaset do kilku milionów gwiazd.

878 Jednostką jasności gwiazdy jest „wielkość gwiazdowa”. Zanim wynaleziono teleskop, gwiazdy zostały pogrupowane według ich jasności widzianej z Ziemi. Najjaśniejsze to gwiazdy pierwszej wielkości, następnie z kolei nazwano gwiazdami drugiej wielkości, a te o najmniejszej jasności, widzialne jeszcze gołym okiem, były gwiazdami szóstej wielkości. Podział ten zachowali astronomowie także po wynalezieniu teleskopów.

Wzrost wielkości gwiazdowej o jednostkę odpowiada 2,5 raza mniejszej jasności gwiazdy. Tak więc gwiazda szóstej wielkości ma jasność sto razy mniejszą niż gwiazda pierwszej wielkości. Dziś astronomowie, posługując się

nowoczesnymi teleskopami, obserwują na niebie obiekty dwudziestej czwartej wielkości i nie jest to dla nich nic niezwykłego.

Widoczna jasność gwiazdy zależy od tego, jak daleko jest ta gwiazda i ile energii wysyła. W celu wyeliminowania niejednoznaczności związanej z odległością gwiazdy astronomowie zdefiniowali tzw. jasność absolutną, jako jasność, którą mogłaby mieć dana gwiazda, gdyby była obserwowana z odległości trzydziestu trzech lat świetlnych. Jasność absolutna nie zależy od odległości między Ziemią a gwiazdą, lecz jest miarą jasności samej gwiazdy.

Historia życia gwiazdy

879 Gwiazdy powstają z materii międzygwiazdowej rozmieszczonej w obłokach gazowo-pyłowych. Wskutek grawitacji obłok taki zaczyna się zapadać. W miarę jak się kurczy, rośnie jego temperatura. W końcu temperatura w centrum staje się tak wysoka, że rozpoczyna się reakcja termojądrowa i są to narodziny gwiazdy.

Astrofizycy ciągle jeszcze toczą spory dotyczące szczegółów narodzin gwiazd. Wydaje się na

przykład, że zapłon nie następuje od razu, gwiazda najpierw trochę się „jąka”, jak samochód w chłodny poranek. Następuje przy tym wyrzucenie w przestrzeń dużej ilości materii. Wreszcie gwiazda osiąga stan równowagi, który trwa przez całe dojrzałe życie gwiazdy.

880 Duże gwiazdy żyją krótko – umierają młodo, zostawiając efektowne resztki. To może wydawać się paradoksem, ale duże gwiazdy, mające znacznie więcej paliwa, żyją krócej niż ich mniejsi rówieśnicy. Przyczyna jest dość prosta. Im większa gwiazda, tym większa jest siła grawitacji zmierzająca do wywołania kolapsu, czyli zapadania się gwiazdy (patrz poniżej). Im bardziej grawitacja ściąga materię, tym większej ilości spalonego paliwa wymaga podtrzymanie stanu stabilnego gwiazdy. Wynik końcowy jest taki, że gwiazdy dziesięć razy większe od Słońca żyją tylko 20 do 30 milionów lat, podczas gdy gwiazdy o wiele mniejsze niż Słońce mogą żyć dłużej niż 100 milionów lat.

881 Kiedy Słońce zużyje wodor, zacznie spalać „popioły” ze swego nuklearnego pie-

ca. Wodór jest podstawowym paliwem gwiazdowym. „Popiołem” z nuklearnego spalania wodoru jest hel. Kiedy wodór w Słońcu zacznie się wyczerpywać, co ma nastąpić za 5 miliardów lat, to nic już nie będzie mogło równoważyć siły grawitacji. Rozpocznie się proces kurczenia Słońca, a zatem rozgrzewanie jego wnętrza. Ten wzrost temperatury spowoduje rozpoczęcie reakcji jądrowej spalania helu. Tak więc każdy następny etap będzie polegał na spalaniu popiołów poprzedniego.

882 Słońce stanie się najpierw czerwonym olbrzymem, a potem białym karłem. Pod koniec życia Słońca zewnętrzne jego warstwy zaczną się rozszerzać. Połkną Merkurego i Wenus i wypełnią pół nieba (patrząc na to z Ziemi). W tym momencie zniknie życie na Ziemi, a Słońce osiągnie typ gwiazdy zwany czerwonym olbrzymem. Następnie znów się rozpocznie okres stygnięcia i kurczenia. Tym razem temperatura już nie podniesie się tak bardzo, by mógł nastąpić zapłon reakcji jądrowych. Końcowym produktem kurczenia się jest gwiazda o średnicy kilku tysięcy kilometrów, zwana białym karłem. Siły grawitacji działają na-

dal, lecz nie mogą już zmusić elektronów do większego zbliżenia się do siebie. W ten sposób osiągnięta zostaje równowaga wieczna.

883 Duże gwiazdy umierają jako supernowe. Kiedy w dużych gwiazdach kończy się spalanie wodoru i helu, nadal się kurczą, temperatura rośnie i zaczyna się spalać węgiel, potem krzem, aż wreszcie powstaje żelazo. Żelazo jest popiołem ostatecznym. Nie można otrzymać energii ani z rozkładu żelaza, ani z jego syntezy z innymi jądrami. Żelazo po prostu się „nie pali”. Tak więc w dużych gwiazdach staje się ono głównym składnikiem jądra.

Z chwilą ustania reakcji jądrowych wewnątrz dużej gwiazdy jej jądro zapada się pod wpływem grawitacji. Zewnętrzne warstwy gwiazdy, którym „usunął się grunt pod nogami”, zaczynają spadać ku centrum. Opadają na jądro (które uległo przemianom i składa się teraz z samych neutronów, ma więc ogromną gęstość) i odbijają się od niego. Rozpętuje się piekło. Wynikiem tego jest eksplozja rozrywająca gwiazdę dosłownie na kawałki i wysyłająca w przestrzeń ogromną ener-

gię. Przez krótki okres supernowa wysyła więcej energii niż cała galaktyka.

884 Sposób, w jaki umierają gwiazdy, zależy od ich masy. Tylko masa gwiazdy decyduje, jakie będzie ostatnie stadium jej życia.

Gwiazda o masie Słońca, a nawet pięć razy od niego cięższa, przejdzie drogę od czerwonego olbrzyma do białego karła w sposób, jaki opisano dla Słońca. Gwiazda osiem razy cięższa od Słońca stanie się supernową. Jeżeli natomiast masa gwiazdy mieści się między pięcioma a ośmioma masami Słońca, to nie potrafimy przewidzieć, co się z nią stanie, wiemy jedynie, że pójdzie którąś z tych dwóch dróg.

885 Ostatnią supernową, jaka pojawiła się w naszym sąsiedztwie, była supernowa 1987A. Supernowe nie są zjawiskiem rzadkim, pojawiają się w większości galaktyk kilka razy w ciągu wieku. Supernowa w Wielkim Obłoku Magellana, leżącym blisko naszej Galaktyki, ukazała się w lutym 1987 r. Jest to pierwsza supernowa, która znajduje się wystarczająco blisko, by móc ją obserwować za pomocą

wszystkich technik nowoczesnej astronomii.

Największą niespodzianką, jaką sprawiła 1987A, było to, że nie sprawiła żadnej niespodzianki. Zachowywała się mniej więcej zgodnie z przewidywaniami. Był to wielki triumf współczesnej astrofizyki.

886 Gwiazda neutronowa to jeden z możliwych stadiów końcowych supernowej. Podczas gdy supernowa zapada się, elektrony w jej jądrze wbijają się do wnętrza protonów. Reakcja ta prowadzi do przejścia protonów w neutrony. Powstaje gwiazda neutronowa o średnicy jedynie około 16 km, lecz niemal tak masywna jak Słońce. Gwiazda neutronowa jest stabilna, ponieważ siły grawitacji nie mogą zmusić neutronów do jeszcze większego zbliżenia. Wierzymy, że mamy dowody na istnienie wielu gwiazd neutronowych na niebie.

887 Pulsar jest gwiazdą neutronową obracającą się wokół osi. Na powierzchni gwiazd neutronowych jest mnóstwo gorących miejsc, które emitują fale radiowe. Jeżeli gwiazda obraca się szybko, fale radiowe omiatają przestrzeń, podobnie

jak światło latarni morskiej omiata ocean. Na Ziemi odbieramy te fale radiowe jako impulsy – jeden impuls za każdym przejściem wiązki fal. Ponieważ sygnał nadchodzący od tych gwiazd jest pulsujący, nazwano je pulsarami.

888 Regularne, przerywane sygnały nadchodzące od pulsara są bardzo podobne do prób porozumienia się z nami istot pozaziemskich. Kiedy zostały zarejestrowane przez astronomów angielskich w późnych latach sześćdziesiątych, żartobliwie nazwano je w obserwatorium sygnałami LGM – *little green men* (sygnały pochodzące od „małych zielonych ludzików”).

889 Niektóre pulsary zapewne są kanibalami. Na niebie obserwuje się ponad pięćset pulsarów. Około tuzina z nich obraca się z niewiarygodną prędkością prawie tysiąca obrotów na sekundę. Astrofizycy sądzą, że te szybkie pulsary były kiedyś normalnymi pulsarami obracającymi się z prędkością trzystu obrotów na sekundę, lecz należały do

układu złożonego z dwóch gwiazd. Silne pole grawitacyjne gwiazdy neutronowej ściągnęło na nią dotychczasowego partnera. Ta masa pochłaniana przez kanibala opadała spiralnie na powierzchnię pulsara, przyspieszając jego obroty do obecnej prędkości.

890 Czarna dziura jest innym możliwym końcowym stadium supernowej. Jeżeli masa rdzenia supernowej jest dostatecznie duża, grawitacja może zmusić neutrony do jeszcze większego zgęszczenia i gwiazda zmienia się w czarną dziurę – obiekt tak masywny i tak mały, że nic, nawet światło, nie może opuścić jego powierzchni. Czarna dziura tak masywna jak Słońce miałaby tylko 6 km średnicy.

Czarna dziura jest ostatecznym triumfem sił grawitacji nad materią gwiazdy.

891 Nie ma żadnego przekonującego dowodu na istnienie czarnych dziur we Wszechświecie. Zdziwiałoby to większość ludzi, ponieważ czarne dziury zajmują znaczące miejsce zarówno w publikacjach naukowych, jak i w literaturze fantastyczno-naukowej. Trudno je obserwować,

ponieważ – z definicji – żaden sygnał od nich nie może do nas dotrzeć. Jedynym sposobem, by stwierdzić istnienie czarnych dziur, jest obserwowanie ich oddziaływań grawitacyjnych, a to znaczy, że musimy znaleźć układ podwójny gwiazd, którego jednym ze składników jest czarna dziura. Astronomowie mają pół tuzina kandydatów na systemy zawierające czarne dziury, lecz warto zapamiętać uwagę fizyka z MIT, Philipa Morrisona, dotyczącą dowodów na istnienie czarnych dziur: „Uwierzę w nie, kiedy je zobaczę”.

892 Gwiazdy nowe to inne obiekty niż gwiazdy supernowe, chociaż ich jasność również nagle wzrasta. To, co teraz nazywamy nową, jest w rzeczywistości układem podwójnym, w którym jedną z gwiazd jest biały karzeł. Materia z dużej gwiazdy opada na powierzchnię białego karła dopóty, dopóki jej warstwa nie osiągnie grubości około 1 m. Wtedy, wskutek ogromnego ciśnienia i temperatury, rozpoczyna się reakcja termojądrowa i dodatkowa masa ulegnie spalaniu. Właśnie ten proces obserwujemy na niebie jako wzrost jasności gwiazdy. Ta sama

nowa może rozbłysnąć wielokrotnie. Typowy czas między kolejnymi rozbłyskami wynosi około 10 000 lat.

893 Gwiazdziste niebo jest przemijającym stadium ewolucji Wszechświata. W jądramach białych karłów nie zachodzą reakcje termojądrowe, lecz są ciągle jasne, ponieważ wysyłają promieniowanie kosztem zmagazynowanego we wnętrzu ciepła. Kiedy ciepło to zostanie zużyte, biały karzeł przestanie świecić. Stanie się brązowym lub czarnym karłem – gwiazdą wypaloną na żużel. Podobnie pulsary w końcu wypromieniują w przestrzeń całą swoją energię, przestaną się obracać i staną się żużlem innego rodzaju. Gdy to się dokona, nie będzie już gwiazd na niebie.

Gwiazdy i chemia

894 Gwiazdy to fabryki, w których są produkowane ciężkie pierwiastki. W czasie Wielkiego Wybuchu powstał głównie wodór i hel. Stanowią one paliwo dla gwiazd. Wszystkie inne pierwiastki chemiczne powstają w gwiazdach w wyniku reakcji

syntezy termojądrowej. W ścisłym znaczeniu tego słowa gwiazdy są kottami, w których wytapia się materia Wszechświata. Jeżeli pierwsze gwiazdy tworzyły się podobnie, jak rodzą się dziś, to niektóre z nich musiały być duże. Gwiazdy te wypaliły się szybko, produkując jądra ciężkich pierwiastków. Umierając, stawały się supernowymi. Rozproszone w przestrzeni międzygwiazdowej pierwiastki stały się składnikami gwiazd drugiej i trzeciej generacji. Tak więc, w miarę jak nasza Galaktyka starzała się, rósł zestaw ciężkich pierwiastków. Słońce i Układ Słoneczny powstały dość późno i wszystkie ciężkie pierwiastki weszły w ich skład.

895 Prawie wszystkie ciężkie pierwiastki w twoim ciele zostały wyprodukowane gdzieś w supernowych. Wszystkie pierwiastki cięższe niż żelazo i większość pierwiastków cięższych niż hel powstały w gwiazdach supernowych i znalazły się w przestrzeni międzygwiazdowej po wybuchu tych gwiazd. Tam musiały czekać aż do chwili, gdy zostały użyte do utworzenia nowych gwiazd i (być może) planet. 4,6 miliarda lat temu z takiego wzbogaconego gazu powstało Słońce i Ziemia. Wapń w twoich kościach, żelazo we krwi, węgiel w tkankach powstały gdzieś wewnątrz gwiazd, najprawdopodobniej w supernowych.

Galaktyki

896 We Wszechświecie nie ma samotnych gwiazd. Kiedy patrzymy w niebo, widzimy gwiazdy zgrupowane w duże zbiorowiska nazywane galaktykami. Wcale nie musiało tak być. Gwiazdy mogły być rozłożone równo-

miernie albo wszystkie znaleźć się w jednej gigantycznej galaktyce lub przyjąć jakiś rozkład pośredni. Dlaczego więc rozmieszczone są tak, a nie inaczej?

Na to pytanie uczeni nie potrafią na razie odpowiedzieć.

897 Słońce należy do Galaktyki (niekiedy używana jest inna jej nazwa: Droga Mleczna). W skład jej wchodzi około 100 miliardów gwiazd. Najbardziej uderza ta jej cecha, że jasne gwiazdy znajdują się w spiralnych ramionach. Z daleka nasza Galaktyka wyglądałaby jak płaski dysk o średnicy około 80 000 lat świetlnych z czterema spiralnymi ramionami. W centrum Galaktyki znajduje się kuliste skupienie gwiazd nazywane jądrem. Nasze Słońce jest położone na jednym z ramion w odległości blisko dwóch trzecich jego długości od jądra.

898 W jądrze Galaktyki gwiazdy są gęsto upakowane. W okolicy Słońca położone są daleko od siebie – w odległości kilku lat świetlnych. W jądrze Galaktyki odległości między gwiazdami są znacznie mniejsze, być może tylko kilka razy większe niż Układ Słoneczny. Gdybyś mieszkał na planecie obiegającej jedną z tych gwiazd, nie miałbyś nocy. Nawet wtedy, gdyby twoja planeta była odwrócona tyłem do swojego słońca, docierałoby do niej mnóstwo światła od sąsiednich gwiazd.

899 Droga Mleczna widziana na letnim niebie to gwiazdy znajdujące się w dysku naszej Galaktyki. Nazwa pochodzi od jasnego pasma składającego się z tysięcy widocznych gwiazd, ciągnącego się przez całe niebo. Jeżeli wyobrazisz sobie Galaktykę jako płaski naleśnik, to ty wraz ze Słońcem znajdujesz się wewnątrz niego, a Droga Mleczna jest ciastem wokół ciebie.

Pytanie

Dlaczego poza Drogą Mleczną widać o wiele mniej gwiazd? Odpowiedź: Gdy patrzysz na Drogę Mleczną, patrzysz w płaszczyźnie naleśnika. Gdy patrzysz poza Drogę Mleczną, wyglądasz z naleśnika na zewnątrz.

900 Słowo galaktyka pochodzi od wyrazu greckiego „galaktikos” oznaczającego „mleczny”. Zapewne widok Drogi Mlecznej przypominał Grekom mleko rozlane na niebie.

901 Nasza Galaktyka, podobnie jak wszystkie inne, ma złożoną budowę. Zbliżając się

do niej z wielkiej odległości, napotyka się najpierw małe galaktyki „peryferyjne”, takie jak Obłoki Magellana. Jeszcze bliżej, spotyka się kuliste gromady gwiazd, składające się z setek tysięcy do miliona gwiazd. Opuszczając te gromady, trafia się na znajomy naleśnik i spiralne ramiona, które większości z nas kojarzą się z wyglądem Galaktyki. W końcu docieramy do centralnie umieszczonego skupiska gwiazd stanowiącego jądro Galaktyki. Dodać trzeba, że cała ta złożona struktura jest zamknięta w niewidzialnej sferze ciemnej materii (patrz niżej) i okaże się, że budowa galaktyk jest tylko pozornie prosta. W centrum naszej Galaktyki znajduje się prawdopodobnie czarna dziura. Badając promieniowanie docierające do nas z centrum naszej Galaktyki (w gwiazdozbiorze Strzelca), astronomowie doszli do wniosku, że dzieje się tam coś bardzo dziwnego. Zaobserwowali dużą pustą przestrzeń w środku, w której nie ma gazu, lecz jest ona otoczona wirującymi chaotycznie strzępkami materii. Na podstawie obserwacji tego ruchu materii uczeni wyciągnęli wniosek, że w centrum Galaktyki musi się znajdować obiekt kilka milionów razy więk-

szy od Słońca. Czarna dziura jest najlepszym kandydatem na taki obiekt.

902 Spiralne ramiona, które kojarzą się nam zwykle z galaktyką, są jedynie jej niewielką częścią. Przekonani jesteśmy, że przynajmniej 90 procent, a może i więcej, masy galaktyki, takiej jak nasza, stanowi ciemna materia. Ciemna materia zajmuje kulisty obszar, całkowicie obejmujący spiralne ramiona galaktyki i rozciągający się daleko poza nie. Innymi słowy, patrząc na galaktykę, nie widzisz, czym jest ona naprawdę.

903 Choć nie możemy obserwować ciemnej materii wprost, wiemy o jej istnieniu, ponieważ obserwujemy wywołane przez nią zjawiska grawitacyjne. Poza spiralnymi ramionami galaktyk przemieszczają się pojedyncze atomy wodoru, krążące wokół galaktyki jak mikroskopijne satelity. Potrafimy odbierać fale radiowe pochodzące od tych atomów i wiemy, że ich orbity są kształtowane przez siły grawitacyjne inne niż te, które pochodzą od materii przez nas obserwowanej. Ciemną materią nazywamy właśnie źródło tych dodatkowych sił.

Galaktyki

904 Istnienie innych galaktyk zostało potwierdzone dopiero w latach dwudziestych. Stały się one tak ważną częścią naszego obrazu Wszechświata, że trudno uwierzyć, iż jeszcze nie tak dawno samo ich istnienie było przedmiotem dyskusji. Spierano się, czy te plamy światła na niebie były innymi „wyspami Wszechświata”, podobnymi do naszej Galaktyki, czy po prostu chmurami gazu należącymi do niej. Zagadnienie to rozwiązał w końcu amerykański astronom Edwin Hubble za pomocą stucalowego teleskopu na Mt. Wilson w Kalifornii. Przez teleskop ten zaobserwował pojedyncze gwiazdy galaktyki zwanej Wielką Mglawicą w Andromedzie – naszej najbliższej sąsiadki. Hubble potrafił udowodnić, że gwiazdy te dzieli od nas odległość przekraczająca 2 miliony lat świetlnych.

905 Sławny niemiecki filozof Immanuel Kant pierwszy rozważał możliwość istnienia innych galaktyk we Wszechświecie i właśnie on nazwał je wyspami Wszechświata.

906 Większość galaktyk – około trzech czwartych z nich – to, podobnie jak nasza, galaktyki spiralne. Są one płaskie, mniej lub bardziej podobne do dysku, i mają dwa lub cztery (czasami więcej) spiralnie zakrzywione ramiona. Niektóre z nich trochę przypominają ostrze piły tarczowej.

Oprócz galaktyk spiralnych istnieją także inne ich rodzaje. Wśród tych, które nie są spiralne, większość stanowią eliptyczne. Jak sama nazwa wskazuje, są to duże eliptyczne skupiska gwiazd, nie mające jakiejś szczególnej struktury. Galaktyki, które nie są spiralne ani eliptyczne, stanowią trzeci rodzaj – galaktyki „różne”. Należą do nich karłowate i galaktyki nieregularne.

907 Galaktyki tworzą się w wyniku kondensacji chmur gazowych – jest to proces podobny do tego, który doprowadził do powstania Słońca i Układu Słonecznego. W ogromnej chmurze gazu są obszary, gdzie skupiła się (przypadkowo) większa masa. Te obszary o dużej gęstości przyciągają do siebie materię znajdującą się w sąsiedztwie. W ten sposób ich masa rośnie i są zdolne do przyciągania coraz

większej ilości materii. Proces ten zakończy się podzieleniem wielkiej chmury na oddzielne galaktyki, a wewnątrz każdej galaktyki doprowadzi do powstania oddzielnych gwiazd. W miarę jak materia jest ściągana ku centrum galaktyki przez siły grawitacji, prędkość jej obrotów – niezależnie od tego, kiedy by się rozpoczęły – musi wzrosnąć. Jest to zjawisko podobne do piruetu łyżwiarki. Kiedy trzyma ona ramiona blisko siebie, wiruje bardzo szybko. Kiedy rozłoży ramiona szeroko, szybkość obrotów spada. Podobnie z galaktyką – gdy następuje kondensacja i kurczenie się, prędkość jej obrotów rośnie. Dzisiaj nasza Galaktyka obraca się wokół swej osi raz na 250 milionów lat.

Rotacja galaktyk wyjaśnia, dlaczego przyjmują kształt dysku. Rotacja rozrzuca na zewnątrz materię, z której są zbudowane gwiazdy, podobnie jak to czyni kolo garncarskie z gliną.

908 Spiralne ramiona w galaktyce nie są tym, na co wyglądają. Myśl, że ramiona te powstały w wyniku rotacji, wydaje się kusząca, narzuca się analogia do wzorów widzianych na

śmietance, gdy się miesza kawę. Jednak to nie może być prawdą. Na przykład nasza Galaktyka od czasu narodzin obróciła się już wiele razy. Gdyby ramiona spiralne były podobne do śmietanki w kawie, już dawno temu „owinęłyby” się na jądrze.

Obecnie sądzi się, że ramiona spiralne nie są miejscami, gdzie jest najwięcej gwiazd w galaktyce, lecz miejscami, gdzie są one najjaśniejsze (przeważnie najmłodsze). Wygląd galaktyki przypomina widok miasta w nocy oglądanego z góry – główna ulica może być bardzo jasna, co nie znaczy, że właśnie w tym miejscu jest najwięcej ludzi.

Tajemnica

909 Dlaczego galaktyki mają spiralne ramiona? Przypuszcza się, że fale ciśnienia przemieszczające się dookoła galaktyki mniej więcej jak szprychy w kole, w miarę jak się przemieszczają, rozpoczynają tworzenie gwiazd. Dlatego można sobie wyobrazić jasne, spiralne ramiona jako miejsca, gdzie tworzą się gwiazdy.

Radiogalaktyki

910 Radiogalaktyki to obiekty bardzo gwałtowne. Galaktyki podobne do naszej emitują większość promieniowania w postaci światła widzialnego, nasze Słońce również. Istnieje jednak spora liczba galaktyk, które wysyłają bardzo silne sygnały radiowe. Nazwane zostały radiogalaktykami. Galaktyki, które wydają się jasne (tzn. galaktyki wysyłające silne promieniowanie w zakresie widzialnym), okazują się słabymi źródłami sygnałów radiowych, i na odwrót.

Kiedy obserwujemy radiogalaktyki za pomocą zwyczajnych teleskopów, widzimy galaktyki, w których panuje ogromne zamieszanie — wybuchy i inne rodzaje zachowań nie spotykanych we względnie spokojnym miejscu, jakim jest nasza Galaktyka.

Właściwie galaktyki dzielą się na dwa rodzaje: galaktyki aktywne, jak na przykład radiogalaktyki, i stateczne, przytulne miejsca, jak nasza Galaktyka. Burliwość radiogalaktyk jest tak wielka, że patrząc na nie, możesz zobaczyć ogromne dzęty (wąskie strugi materii) wyrzucane ze środka galaktyki. Dzęty te są często

wielokrotnie większe niż sama galaktyka — stanowią uderzające zjawisko na radiowym niebie.

911 Kwazary są przykładami radiogalaktyk. Kwazar jest akronimem od *quasi-stellar radio source* (gwiazdopodobne źródło radiowe). Nazwa wzięła się stąd, że chociaż źródła te emitują ogromne ilości energii w zakresie radiowym, obserwowane przez teleskop optyczny wyglądają jak pojedynczy punkt świetlny, czyli jak gwiazda. Teraz wiemy, że kwazary to bardzo odległe galaktyki typu radiogalaktyk aktywnych. Obecnie znamy ponad tysiąc kwazarów.

912 Kwazary to obiekty najbardziej odległe i najstarsze. Astronomowie określają odległość kwazara, mierząc przesunięcie jego widma ku czerwieni. Najbardziej odległy kwazar, znany jako 0051-229 (stan z 1992 r.), znajduje się w odległości w przybliżeniu 16 miliardów lat świetlnych od Ziemi. Jest to niemal sam skraj Wszechświata, który możemy obserwować. Ponieważ kwazary są daleko, światło docierające od nich do nas podróżowało bardzo długo. Toteż kwazar obserwowany przez nas dzisiaj mo-

że nie mieć nic wspólnego z obiektem istniejącym obecnie w tym miejscu. Niektórzy astronomowie sądzą, że kwazary są wczesnym stadium ewolucyjnym rozwoju wszystkich galaktyk. Gdyby tak miało być, a ty byłbyś astronomem stojącym na planecie w obiekcie nazywanym 0051-229, patrzącym w kierunku naszej Galaktyki, to mógłbyś zobaczyć nas jako kwazar, a siebie jako galaktykę całkiem zwyczajną, która przeszła już przez zawieruchę przemian.

Tajemnica

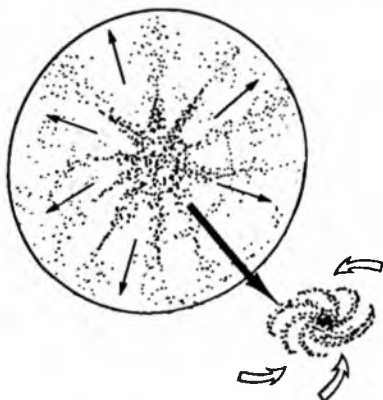
913 Dlaczego w ogóle istnieją galaktyki? Wiemy o istnieniu innych galaktyk już od przeszło pół wieku, lecz ciągle nie

możemy wyjaśnić, dlaczego one istnieją. Z większości teorii wynika, że nie powinno ich być. Główny problem jest następujący. Galaktyki nie powinny zacząć gromadzić się pod wpływem grawitacji wcześniej niż po upływie 500 tysięcy lat po początku Wszechświata. Przed tym terminem ciśnienie rozszerzającego się, po Wielkim Wybuchu, Wszechświata było na to zbyt duże. Z drugiej strony, po upływie tych 500 000 lat rozrzedzenie materii było już za duże, by mogły się utworzyć galaktyki o takich rozmiarach, jakie obserwujemy. Nikt jeszcze nie wyliczył, jak zmieścić długotrwały proces powstawania galaktyk w tak krótkim przedziale czasu. Próby obliczenia tego nie ustają, lecz jest to nadal nie rozwiązany problem współczesnej kosmologii.

Kosmologia

914 Wszechświat się rozszerza. Galaktyki odsuwają się od siebie. Fakt ten został odkryty przez amerykańskiego astronoma Edwina Hubble'a. Ob-

serwował on światło wysyłane przez odległe galaktyki i porównywał je z emitowanym przez różne pierwiastki w laboratoriach na Ziemi. Odkrył, że fala



Rozszerzanie się Wszechświata. Galaktyki tworzą się z lokalnych zgęszczeń rozszerzającej się materii.

światła z odległej galaktyki miała większą długość, niż oczekiwano – tzn. przesunięta była w kierunku czerwonego skraju widma. Interpretując to zjawisko jako wpływ efektu Dopplera, Hubble stwierdził, że wszystkie galaktyki Wszechświata oddalają się od nas i im dalej jest dana galaktyka, tym szybciej się oddala.

915 Rozszerzanie się Wszechświata nasuwa wniosek, że miał on swój początek w czasie. Jeżeli wyobrazisz sobie film o rozszerzaniu się Wszechświata puszczoney „do tyłu”, to zobaczysz, jak

w miarę upływu czasu świat staje się coraz mniejszy, aż osiągnie geometryczny punkt. Niewątpliwie oznacza to pewnego rodzaju początek, a czas zdefiniowany w ten sposób nazywa się wiekiem Wszechświata (wiek Wszechświata jest równy odwrotności stałej Hubble’a). Według najlepszych oszacowań wiek Wszechświata jest zawarty między 10 a 20 miliardami lat.

916 Obraz Wszechświata, w którym wszystko zaczyna się od stanu materii o wielkiej gęstości i wysokiej temperaturze, a następnie się rozszerza, nazwano

Wielkim Wybuchem. Termin ten jest używany w opisie zarówno ewolucji Wszechświata, jak i zdarzenia, od którego się Wszechświat rozpoczął.

Wielki Wybuch można najlepiej zaprezentować na przykładzie rosnącego ciasta. Niech każda rodzynka w tym cieście oznacza galaktykę. Stojąc na jednej z tych rodzynek, będziesz uważał, że się nie poruszasz, natomiast inne rodzynki, w miarę jak ciasto rośnie, oddalają się od ciebie. Im dalej są te rodzynki, tym szybciej się oddalają, po prostu dlatego, że między tobą a nimi jest coraz więcej rosnącego ciasta. Kiedy Hubble przyjrzał się Wszechświatowi, zobaczył analogiczne zjawisko.

917 Termin Wielki Wybuch został użyty po raz pierwszy w znaczeniu ironicznym. W latach czterdziestych istniało wiele rywalizujących ze sobą teorii dotyczących natury Wszechświata. Brytyjski astrofizyk Fred Hoyle ukuł termin Wielki Wybuch w celu skrytykowania konkurentów. Nieoczekiwanie termin ten znalazł drogę do opinii publicznej jako nazwa teorii.

918 Wielki Wybuch nie jest podobny do eksplozji. Pokusa wyobrażenia sobie Wielkiego Wybuchu jako zjawiska analogicznego do eksplozji pocisku artyleryjskiego jest ogromna. Przykład ciasta z rodzynekami pokazuje, że było inaczej. Powstaje i rozszerza się sama przestrzeń, a galaktyki są przez nią unoszone. Obawiam się, że myśląc o Wielkim Wybuchu, zapłaczesz się niemilośnie, chyba że nagle uchwycisz sedno.

919 Same galaktyki nie rozszerzają się, a przynajmniej nie za bardzo. Chociaż rośnie odległość od jednej galaktyki do drugiej, rozmiary poszczególnych galaktyk pozostają stałe. W naszym przykładzie – rodzynki się nie rozszerzają, ekspansja jest wyłącznie własnością ciasta.

Do czego rozszerza się Wszechświat? Gdybym sporządził listę nurtujących mnie pytań, to właśnie takie znalazłoby się na czołowym miejscu. Nie lubię go, ponieważ jest głupie. W rzeczywistości jest ono przepaśne. Powodem mojej niechęci jest fakt, że nie znalazłem satysfakcjonującej odpowiedzi.

Wyrażenie idei naukowej w języku codziennym jest tłumaczeniem z jednego języka na inny. Językiem nauki jest matematyka, a językiem zwyczajnych rozmów – na przykład angielski. Zazwyczaj, kiedy otrzymuję pytanie, tłumaczę je z angielskiego na matematykę, znajduję w tym języku odpowiedź i przekładam ją na angielski. Problem, jaki mam z pytaniem: „Do czego rozszerza się Wszechświat”, polega na tym, że nie mogę przetłumaczyć go na matematykę. Przypomina mi to pytanie: „Co jest północą bieguna północnego?” Jeżeli pomyślisz o tym przez chwilę, stwierdzisz, że problem nie polega na tym, iż nie ma nic północnego na biegunie północnym, lecz na tym, że nawet na biegunie północnym nie ma nic północnego. Frustracja, jaką teraz czujesz, jest podobna do mojej, gdy jestem pytany, do czego rozszerza się Wszechświat.

Ewolucja Wszechświata

920 Młodszy Wszechświat był gorętszy. Wszelkie sub-

stancje, kiedy są sprężone, z reguły są gorętsze niż przed sprężeniem. Wszechświat nie jest wyjątkiem od tej reguły. Kiedy był młodszy, był gorętszy i dlatego zderzenia między jego częściami składowymi były gwałtowniejsze. Im głębiej się cofnąć w czasie, tym wyższa była temperatura Wszechświata i gwałtowniejsze zderzenia. Ta uwaga jest kluczem do zrozumienia ewolucji Wszechświata.

921 Wszechświat ewoluował poprzez wiele „zamarzań”. Jeżeli para wodna znajdująca się w bardzo wysokiej temperaturze i pod wysokim ciśnieniem nagle zostanie uwolniona, to rozszerzając się będzie stygnąć. Kiedy układ osiągnie temperaturę 100°C, zajdzie ważna zmiana – nastąpi kondensacja pary wodnej w wodę. Układ nadal będzie się rozszerzał i stygnął, aż do następnego przelomowego stanu, w którym woda zamarnie w lód. Możemy zatem scharakteryzować ewolucję pary wodnej jako jednorodne rozszerzanie się, przerywane nagłymi zmianami stanu materii.

W podobny sposób można scharakteryzować ewolucję Wszechświata – jako okresy ciągłego rozszerzania się i stygnięcia, przerywane krótkimi okresami, w któ-

rych zachodzą zmiany fundamentalne. Wyróżnię sześć takich zmian i nazwę je zamarzaniem.

922 Wynikiem ostatniego „zamarzania”, które nastąpiło około 500 000 lat po Wielkim Wybuchu, było powstanie atomów. Wcześniej nie mogło się to wydarzyć, ponieważ każdy elektron, który próbował przyłączyć się do jądra, był usuwany z niego wskutek zderzeń. Do tego więc czasu materia istniała w stanie plazmy i dopiero później powstały atomy.

Światło i inne promieniowanie elektromagnetyczne nie może pokonywać w plazmie dużych odległości, nie oddziałując z materią. Dopóki więc nie powstały atomy, Wszechświat był nieprzezroczysty. Gdyby zawierał bryłę materii, byłaby ona bardziej nieprzezroczysta niż otoczenie i oddziaływanie na nią promieniowania plazmy byłoby silniejsze, co doprowadziłoby do rozproszenia materii tej bryły.

Kiedy powstały atomy, Wszechświat stał się nagle przezroczysty i światło zostało uwolnione. Od tego czasu oddziałuje ono z materią bardzo słabo. Oznacza to, że galaktyki nie mogły zacząć się tworzyć wcześniej, niż Wszech-

świat „zamarzył” do tego stopnia, by mogły powstać atomy.

923 Jądra atomów powstały w trzy minuty po Wielkim Wybuchu. Tyle czasu musiało minąć, zanim temperatura opadła do tego stopnia, by mogły powstać jądra. Przed upływem tego czasu każda próba połączenia się protonu z neutronem i stworzenia najprostszego nawet jądra musiała się skończyć ich rozdzieleniem wskutek zderzeń. Po upływie tego czasu mogły już istnieć jądra lekkich pierwiastków. Tak więc trzy minuty (a dokładniej trzy minuty i czterdzieści pięć sekund) to następny znak na skali czasu życia Wszechświata.

924 Kiedy cząstki elementarne tworzyły jądra, musiały pracować z największym poświęceniem. Jądra nie mogły zacząć się tworzyć, dopóki nie spadła wystarczająco temperatura, lecz gdyby czekały zbyt długo, to w wyniku Hubblewskiego rozszerzania się Wszechświata materia stałaby się tak rozrzedzona, że liczba zderzeń byłaby bardzo mała i nie doszłoby do powstania znaczącej liczby jąder. Te dwa silnie ze sobą związane zjawiska

pozostawiają bardzo niewiele czasu na tworzenie się jąder. Dlatego w Wielkim Wybuchu powstały tylko izotopy wodoru i hel wraz z niewielką ilością litu-7 (którego jądro ma trzy protony i cztery neutrony). Wszystkie inne pierwiastki Wszechświata utworzyły się później.

925 Po dziesięciu mikrosekundach „zamarzły” kwarki. W okresie od dziesięciu mikrosekund do trzech minut materia istniała w postaci cząstek elementarnych. Po dziesięciu mikrosekundach temperatura Wszechświata osiągnęła taką wartość, że kwarki mogły „zamarznąć” w cząstki elementarne. Przed upływem tego czasu materia istniała w formie kwarków i leptonów, po tym czasie występowała już w lepiej znanej postaci cząstek elementarnych (elektronów, neutronów, protonów i innych).

926 W czasie równym 10^{-10} sekundy nastąpiło pierwsze „zamarzanie”. Cofając się od tego czasu aż do Wybuchu, mamy do czynienia z „zamarzaniem” oddziaływań zamiast materii. Dziesięciomiliardowa część sekundy po Wielkim Wybuchu oznacza punkt, w którym nastę-

puje unifikacja oddziaływań słabych z elektromagnetycznymi. Zanim nastąpił ten moment, istniały tylko trzy oddziaływania we Wszechświecie – silne, grawitacyjne i oddziaływanie zunifikowane, które fizycy nazywają elektroslabym. Po upływie tego czasu Wszechświat miał komplet czterech oddziaływań.

927 Warunki, jakie panowały we Wszechświecie w 10^{-10} sekundy po Wybuchu, potrafimy odtworzyć w laboratoriach. Pół tuzina laboratoriów na świecie ma aparaturę przyspieszającą protony lub elektrony niemal do prędkości światła. Cząstki te następnie zderzają się ze sobą. W wyniku tych zderzeń, przez ułamek sekundy, na obszarze o objętości nieco mniejszej niż rozmiary protonu, temperatura podnosi się do takiej wartości, jaką miała wówczas, gdy Wszechświat istniał 10^{-10} sekundy. Choć więc opis Wielkiego Wybuchu wprowadza nas w czasy bardziej odpowiednio dla bajek niż poważnej fizyki, możemy z pewnym zaufaniem mówić, co się działo, ponieważ potrafimy od-

tworzyć w laboratoriach warunki, w jakich się to zdarzyło. Oświadczenie to nie dotyczy teorii, które zostaną przedstawione poniżej.

928 Wielkie teorie unifikacji opisują Wszechświat, jaki powstał w 10^{-33} sekundy po Wielkim Wybuchu. Teoria mówi, że w tym momencie rozpadła się unifikacja oddziaływania silnego z elektroslabym. Przed tą chwilą istniały tylko dwa oddziaływania we Wszechświecie, po niej były trzy. Teorie opisujące to przejście to tzw. wielkie teorie unifikacji lub GUT (*grand unified theories*). Obecnie nie potrafimy odtworzyć w laboratoriach warunków, jakie wtedy panowały, więc musimy zdać się na teorię.

929 Nieobecność antymaterii we Wszechświecie jest wyjaśniona przez GUT. Zastosowano następującą metodę. Wielka teoria unifikacji została użyta do opisanie reakcji, które mogą być przeprowadzone przy względnie niskich energiach, możliwych do osiągnięcia w laboratoriach. Porównanie opisu teoretycznego i wyników doświadczeń pozwoliło na ustalenie wartości

pewnych wielkości odgrywających w teorii istotną rolę. Wczesny Wszechświat opisujemy więc na podstawie teorii, której parametry zostały wyznaczone doświadczalnie. Teoria przewiduje, że na każdym miliard antyprotonów tworzących się we wczesnym Wszechświecie powstawało miliard i jeden protonów. W miarę upływu czasu protony i antyprotony odnalazły się i uległy anihilacji. Wszystkie ciała stałe we Wszechświecie, z twoim ciałem włącznie, są zbudowane z tej odrobiny materii, która nie uległa anihilacji.

930 Inflacja to termin związany z GUT. Używany jest do opisanie okresu, podczas którego ekspansja Wszechświata była bardzo gwałtowna. Podobnie jak woda rozszerza się, kiedy zamarza w lód, tak rozszerza się i Wszechświat, gdy „zamarzają” oddziaływania silne, lecz Wszechświat rozszerza się znacznie bardziej niż woda pozostawiona w butelce na noc. Szacuje się, że czynnik ekspansji wynosi około 10^{50} . Czynnik ten wystarczy, aby wychodząc od czegoś mniejszego niż najmniejsza cząstka, osiągnąć rozmiary grejpfruta. Gdybyś ty się rozszerzył tyle razy, byłbyś większy niż cały Wszechświat!

931 W czasie 10^{-43} nastąpiła ostateczna unifikacja. Pierwsze „zamarzanie”, jak prawdopodobnie oczekujesz, to unifikacja oddziaływań grawitacyjnych ze wszystkimi innymi. Zdarzyło się to w tzw. czasie Plancka (nazwa pochodzi od nazwiska niemieckiego fizyka Maxa Plancka, jednego z twórców mechaniki kwantowej). Przed nadejściem tego czasu Wszechświat był tak prosty, jak tylko mógł być – istniał tylko jeden rodzaj oddziaływań, a materia składała się z jej najmniejszych składników. Od tego okresu istniały już dwa oddziaływania zamiast jednego. Wszystko zaczęło się od czasu Plancka – lubię tak mówić moim studentom.

PRZEŁOMOWE ZMIANY W HISTORII WSZECHŚWIATA

Czas od początku	Co się wydarzyło
10^{-43} sekundy	gravitacja oddzieliła się od innych oddziaływań
10^{-33} sekundy	oddzieliły się oddziaływania silne
10^{-10} sekundy	rozdzieliły się oddziaływania słabe i elektromagnetyczne
10 mikrosekund	kwarki łączą się ze sobą, tworząc cząstki elementarne
3 minuty	powstają jądra lekkich atomów
500 000 lat	powstają atomy

Dowody na poparcie teorii Wielkiego Wybuchu

932 Pierwszym, nieodpartym dowodem przemawiającym za modelem Wielkiego Wybuchu (Innym niż samo rozszerzanie się Wszechświata) było odkrycie mikrofalowego promieniowania tła. Odkryli je w 1964 r. dwaj uczeni z Bell Telephone Labora-

tories – Arno Penzias i Robert Wilson. W celu stworzenia bazy danych dla rodzącego się przemysłu środków łączności wykonali oni, posługując się odbiornikiem mikrofal, pomiary promieniowania mikrofalowego docierającego z przestrzeni do Ziemi. Wykryli, że promieniowanie mikrofalowe dociera do Ziemi niezależnie od tego, w którą stronę skierują aparaturę (odbierali je jako jednostajny gwizd). Dzisiaj interpretujemy to tzw. kosmiczne promie-

niowanie tła jako „echo” Wielkiego Wybuchu. Jest to promieniowanie, które uwolniło się wtedy, kiedy powstawały atomy (patrz wyżej), lecz ostygło od tego czasu. Teraz jest ono charakterystyczne dla obiektu, którego temperatura wynosi około 3 stopni powyżej absolutnego zera. Takie promieniowanie jest charakterystyczne dla rozszerzającego się, stygnącego Wszechświata i dlatego jest uważane za niezbity dowód na poparcie teorii Wielkiego Wybuchu.

Kosmiczne promieniowanie tła jest zdumiewająco jednostajne. Wszędzie jest jednakowe z dokładnością do 0,1 procent niezależnie od tego, w którym kierunku obserwuje się przestrzeń (w 1992 r. Satelita COBE – Cosmic Background Explorer – wykrył niewielkie zaburzenia jednorodności promieniowania tła – przyp. tłum.). Jednostajność promieniowania tła jest jednym z wielkich problemów kosmologii.

933 Synteza termojądrowa stanowi inny dowód na poparcie teorii Wielkiego Wybuchu. Dowód ten pochodzi z obliczeń dotyczących powstawania lekkich jąder po trzech minutach

(patrz wyżej). Użyto następującej metody: Z doświadczeń przeprowadzanych w laboratoriach wiemy, z jakim prawdopodobieństwem powstaną poszczególne produkty w przypadku zderzenia dwóch lekkich jąder. Na przykład możemy zmierzyć prawdopodobieństwo powstania jądra deuteru (trwały izotop wodoru) podczas zderzenia dwóch protonów z określoną prędkością. Podstawiając do odpowiednich wzorów te zmierzone wielkości wraz z prędkościami spodziewanymi po jądrach znajdujących się w temperaturze, jaką miał Wszechświat trzy minuty po Wybuchu, możemy obliczyć liczbę jąder różnych pierwiastków, które powinny wtedy powstać.

Możemy zmierzyć następnie ilości każdego z pierwiastków istniejących w obecnym Wszechświecie (z poprawką na pierwiastki, które powstały w gwiazdach) i porównać te zmierzone wartości z przewidywanymi. W większości przypadków wyniki i przewidywania są znacząco zgodne. Na przykład rozpowszechnienie pierwotnego helu we Wszechświecie jest równe w przybliżeniu 25 procentom, co jest zgodne z oczekiwaniami. Gdyby ta liczba była tak duża jak 28 lub tak mała jak

22, to teoria byłaby po prostu zła i nie dałoby się jej obronić żadnym sposobem. Dlatego rozpowszechnienie pierwiastków jest przekonującym dowodem na poparcie Wielkiego Wybuchu.

934 Potraktowanie nukleosyntezy jako testu modelu Wielkiego Wybuchu umożliwia wykonanie badań tu, na Ziemi. Na przykład deuter jest izotopem wodoru, który ma w swoim jądrze jeden proton i jeden neutron. Deuter nie pochodzi z gwiazd i dlatego cały deuter na Ziemi musiał powstać w Wybuchu. Można zmierzyć rozpowszechnienie deuteru na przykład w wodach oceanicznych lub skałach i stąd otrzymać informację o początkach Wszechświata. Arno Penzias nazwał to tworzeniem kosmologii za pomocą łopaty.

Wielkie struktury Wszechświata

935 Prawie cała materia Wszechświata jest zawarta w supergromadach. Galaktyki są zgrupowane w gromadach, a gromady galaktyk – w supergromadach. Droga Mleczna

należy do tzw. Grupy Lokalnej. Grupa ta składa się z nas, Wielkiej Mgławicy w Andromedzie, jeszcze jednej dużej galaktyki, o której nigdy nie słyszałeś (w gwiazdozbiornie Trójkąta), i około dwudziestu małych galaktyk uwięzionych przez pola grawitacyjne ich większych sąsiadów. Większość galaktyk tworzy takie grupy. Wiele galaktyk należy do gromad zawierających ich po tysiąc i więcej.

Grupy i gromady galaktyk są z kolei skupione w supergromady. Na przykład nasza Grupa Lokalna należy do jednej supergromady wraz z wieloma podobnymi grupami i gromadą galaktyk w gwiazdozbiornie Panny. Supergromady są na ogół długie i wąskie. Gromady są rozmiesz-



Mapa rozkładu galaktyk w przestrzeni ujawniająca organizację materii Wszechświata w wielkiej skali. Każdy punkt na mapie oznacza galaktykę lub gromadę galaktyk. Ziemia znajduje się w wierzchołku kąta.

czone w nich jak koraliki nanizane na sznurek.

936 Wszędzie we Wszechświecie są gigantyczne „pustki”. Pierwsza taka struktura została odkryta przez astronomów w 1981 r. Jest to ogromny obszar nie zawierający materii (lub prawie nie zawierający). Znalazienie pustek zabrało dużo czasu, ponieważ konieczne było odróżnienie galaktyk położonych za obszarem pustki od galaktyk leżących bliżej. Pierwsza z pustek, położona w gwiazdozbiornie Wolarza, zajmuje obszar o średnicy mniej więcej 250 milionów lat świetlnych. W wyniku poszukiwań, które potem nastąpiły, znaleziono wiele takich pustych przestrzeni na niebie. Obecność obszarów pustki właściwie nie powinna się wydawać niespodzianką. Jeżeli większość materii jest zawarta w supergromadach, to gdzieś pomiędzy nimi powinny być i pustki.

937 Supergromady i pustki to współczesny obraz Wszechświata. Dopiero niedawno astronomowie zaczęli całościowo badać skomplikowany układ supergromad i pustych przestrzeni tworzących strukturę Wszech-

świata w wielkiej skali. Obraz, który się wyłania, jest całkiem prosty. Wyobraźcie sobie, że przekroiliście nożem górę mydlin. Na przekroju zobaczycie szeregi pustych bąbli, każdy otoczony przez warstwę mydła. Wnętrze bąbli odpowiada pustkom i *voilà!* – oto Wszechświat.

938 Wszechświat składa się głównie z ciemnej materii. W ciągu ostatnich kilku lat astronomowie zorientowali się, że co najmniej 90 procent materii istnieje w takiej formie, która nie może być widziana. Typowa galaktyka jest otoczona przez ciemną materię stanowiącą więcej niż 90 procent jej masy. Oprócz tego istnieją dowody, że dodatkowa ciemna materia znajduje się także w dużych gromadach galaktyk. Ciemnej materii nie można „zobaczyć”, lecz jej obecność może być wykryta przez obserwację oddziaływań grawitacyjnych.

939 Największa struktura Wszechświata(?). Wielka supergromada galaktyk w gwiazdozbiornach Perseusza i Pegaza ma ponad miliard lat świetlnych długości i jest największą ze znanych supergala-

kytk. W 1989 r. astronomowie z Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics odkryli inną strukturę, którą ochrzczili mianem Wielkiego Muru. Jest to zbiór galaktyk długości 500 milionów lat świetlnych, szerokości 200 milionów lat świetlnych i grubości 15 milionów lat świetlnych. Z pewnością czekają na odkrycie jeszcze dziwniejsze rzeczy – wkrótce o nich usłyszycie.

Tajemnica

940 Jaki był początek Wszechświata? Problem ten zajmuje centralne miejsce zarówno w kosmologii teoretycznej, jak i w literaturze. Wszystkie teorie przedstawione przez kosmologów zakładają, że w pewnym punkcie przeszłości budowa fizyczna Wszechświata uległa zmianie. Wracając do podanego wcześniej przykładu ciasta drożdżowego, wiemy, że jeżeli będziemy obserwować je w czasie płynącym wstecz, będzie się ono kurczyć, lecz nigdy nie skurczy się do punktu geometrycznego. Skurczy się tylko do tego momentu, w któ-

rym składniki ciasta umieszczono w naczyniu i zmieszano. Podobnie jak w tym przykładzie – kosmologowie sądzą, że czas nazywany zerowym nie reprezentuje rzeczywistego zdarzenia fizycznego, lecz jest zaledwie ekstrapolacją wstecz obecnej ekspansji.

Teoretycy różnią się poglądami na temat początków Wszechświata. Najbardziej rozpowszechnione teorie zakładają, że zanim rozpoczęła się ekspansja, Wszechświat był niestabilny i że ekspansję zapoczątkowało pewne zdarzenie, takie jak kreacja masy.

Aby docenić wartość tych teorii, należy pamiętać, że: masa jest formą energii i dlatego może być traktowana jak inne formy energii; w odróżnieniu od masy, której odpowiadają zawsze dodatnie wartości energii, energia potencjalna grawitacji może być albo dodatnia, albo ujemna. Te fakty znaczą, że jest możliwe, aby dodatnia energia potrzebowała tworzenia masy do zrównoważenia ujemnej energii potencjalnej oddziaływań grawitacyjnych między masami. Kreacja materii potrzebnej do stworzenia świata niekoniecznie potrzebuje, żeby „coś” powstało z „niczego”. To jest podobne do kopania dołu. Kiedy już wykopałeś dół, to masz

dół i górę ziemi, lecz nie jest tajemnicą, skąd się ta ziemia wzięła. Jeżeli jednak widzisz tylko górę ziemi, kopanie ziemi może wydawać się cudem – ziemia nagle pojawiła się znikąd.

W ten sam sposób kreacja Wszechświata wygląda cudownie, ponieważ wydaje się nam, że masa nagle pojawiła się znikąd. W rzeczywistości materia jest tą „górami ziemi” Wszechświata i jest zrównoważona przez „dół” w formie pól grawitacyjnych.

Tajemnica

941 Jaki będzie koniec Wszechświata? Każdy, kto usłyszał, że Wszechświat się rozszerza, jest ciekaw, czy ta ekspansja kiedykolwiek się zakończy. W języku astronomów pytanie to wyraża się następująco: „Czy Wszechświat jest otwarty, czy zamknięty?” W otwartym Wszechświecie ekspansja będzie trwała wiecznie. W świecie zamkniętym potrwa przez jakiś czas, potem zwolni, a następnie się odwróci.

Na pytanie, czy Wszechświat jest otwarty, czy zamknięty, można odpowiedzieć na podstawie obserwacji. Jeżeli we Wszech-

świecie jest dosyć materii, siła grawitacyjna zwolni rozbiegające się galaktyki, zmusi do zatrzymania, a potem ściągnie je z powrotem w akcie, który astronomowie nazywają Wielkim Kolapsem. Jeżeli we Wszechświecie nie wystarczy materii, aby tak się stało, to Wszechświat będzie otwarty i będzie się rozszerzał wiecznie. Wszechświat na granicy między otwartym a zamkniętym jest nazywany Wszechświatem płaskim.

Jeżeli w rachunkach uwzględnić tylko materię wysyłającą światło, tzn. materię, która świeci i może być widziana, to Wszechświat ma mniej niż 1 procent materii potrzebnej do zatrzymania ekspansji. Mogłoby się zatem wydawać, że świat jest otwarty.

Astronomowie sądzą, że ilość ciemnej materii we Wszechświecie stanowi co najmniej 30 procent masy potrzebnej do powstrzymania ekspansji Hubble'a. Wielu z nich uważa, że Wszechświat jest w istocie płaski i w przyszłości zostanie odkryta jeszcze jakaś masa.

Z teorii inflacji wynika, że masa Wszechświata jest dokładnie taka, jaka jest konieczna, by Wszechświat był płaski. Byłoby więc miłe, gdyby się ta brakująca

masa znalazła, zwłaszcza że przewidywania teorii są niedwuznaczne – Wszechświat, aby był płaski, musi mieć tę masę z dokładnością do jednej ameby na galaktykę. Jeżeli więc brakująca masa nie zostanie odkryta, to ekspansja Wszechświata nigdy się nie odwróci, będzie trwała wiecznie.

Tajemnica

942 Dlaczego materia we Wszechświecie jest tak „ziarnista”, podczas gdy promie-

niowanie tła jest jednorodne? To nie jest zwykłe pytanie, lecz pytanie nowoczesnej kosmologii. Jednorodność promieniowania świadczy o tym, że materia we Wszechświecie była kiedyś rozłożona równomiernie, lecz dziś jej rozkład daleki jest od równomierności. Materia jest skupiona w supergromadach i brak jej całkowicie w pustkach. Jak zatem przejść od początkowej równomierności do obecnych skupisk, nie tworząc jednocześnie nowego promieniowania mikrofalowego, które powinno wprowadzić zakłócenia jednorodności obecnie obserwowanego tła?

Układ Słoneczny

Wstęp

Wiek obserwacji i dziesiątki lat pracy z sondami kosmicznymi dostarczyły mnóstwa informacji o naszym układzie planetarnym. Po kilku uwagach o ogólnej budowie układu omówimy poszczególne jego części, rozpoczynając

od powierzchni Słońca i poprzez kolejne planety przechodząc do najdalszych komet w przestrzeni.

943 Planety powstały w tym samym czasie co Słońce i są zbudowane z tego samego materiału. Słońce i planety utworzyły się z obłoku gazowo-pyłowego około 4,6 miliarda lat temu.

Wewnątrz Słońca znalazło się 99 procent masy całego obłoku. Zbiór planet i innych obiektów znajdujących się na zewnątrz Słońca w Układzie Słonecznym stanowi tylko drobną część jego masy.

Rotacja obłoku gazowo-pyłowego, z którego powstał Układ Słoneczny, uformowała cały materiał, który nie wszedł w skład Słońca, w płaski dysk. Planety i reszta Układu Słonecznego utworzyły się w tej płaszczyźnie. Wyjaśnia to, dlaczego wszystkie planety (z wyjątkiem Plutona) mają orbity leżące w jednej płaszczyźnie i wszystkie poruszają się w tym samym kierunku (przeciwnie do kierunku ruchu wskazówek zegara, kiedy obserwuje się ten ruch znad bieguna północnego). Układ Słoneczny wygląda jak płaski naleśnik z dużą wiśnią (Słońce) w środku.

Przyciąganie grawitacyjne podzieliło dysk na poszczególne planety. Miejsca w dysku o większej gęstości przyciągały do siebie materię z sąsiedztwa i stawały się coraz masywniejsze. Było to przyczyną jeszcze silniejszego przyciągania jeszcze większej ilości materii i dalszego wzrostu. W końcu połączone bryły utworzyły planety.

944 Największe planety Układu Słonecznego zupełnie nie przypominają Ziemi. Kiedy tworzył się Układ Słoneczny i Słońce się rozgrzewało, między wewnętrzną i zewnętrzną częścią Układu powstała krytyczna różnica temperatur. W pobliżu Słońca było gorąco i pewna część materiałów (takich jak metan i amoniak) występowała w postaci pary, podczas gdy dalej od Słońca przyjęła postać lodu. Kiedy w Słońcu nastąpił zapłon reakcji jądrowych, promieniowanie zmiotło lotne materiały z wewnętrznej części Układu, podczas gdy w dalszej części one pozostały i wraz z gazowym wodorem i hellem weszły w skład planet. Stąd planety bliskie Słońcu są małe i skaliste, a dalsze od niego – duże i gazowe.

Skaliste planety wewnętrzne – Merkury, Wenus, Ziemia i Mars – są nazywane planetami typu ziemskiego lub ziemiopodobnymi. Do tej kategorii zalicza się także Księżyc, mimo że, ściśle mówiąc, nie jest on planetą.

Planety zewnętrzne (Jowisz, Saturn, Uran i Neptun) nazwano gazowymi olbrzymami lub planetami typu Jowisza. Planety te być może mają małe, skaliste jądra (nieco większe niż jądra planet

ziemiopodobnych), lecz są otoczone grubymi warstwami cieczy i gazu.

945 Planety jowiszowe mają budowę warstwową. Choć nie możemy dotrzeć do ich wnętrza, potrafimy w sposób naukowy snuć domysły na temat ich budowy. Jedną z teorii głosi, że każda z tych planet ma jądro z metalu i skał otoczone przez warstwę ciekłej wody, metanu i amoniaku. Z kolei to ciekłe jądro jest otoczone przez warstwę sprężonych gazów – głównie wodoru i helu.

946 Wszystkie planety jowiszowe mają pierścienie. Pierścienie Saturna są oczywiście najlepiej znane w Układzie Słonecznym, lecz w ostatnim dziesięcioleciu astronomowie odkryli, że pierścienie mają wszystkie planety jowiszowe. Kilka układów pierścieni odkryto prowadząc obserwację z Ziemi, lecz szczegóły ich budowy otrzymano dopiero za pomocą sond kosmicznych Voyager (patrz niżej).

947 Pluton to nieco dziwna planeta. Przede wszystkim jest bardzo mała – około 2 procent masy Ziemi – chociaż

znajduje się w tym regionie Układu Słonecznego, w którym można się spodziewać raczej gazowego olbrzyma. Kilku astronomów sugeruje, że Pluton jest schwytaną kometą. Fakt, że planeta ma własny księżyc, przemawia raczej przeciwko temu punktowi widzenia. Jak może być złapaną jednocześnie planeta i jej księżyc? Pluton, czykolwiek by był, nie jest w Układzie Słonecznym do niczego podobny.

948 Przez część swego „roku” Pluton nie jest planetą leżącą najdalej od Słońca. Orbita Plutona przebiega częściowo wewnątrz orbity Neptuna. Aż do 1999 r. Pluton będzie się znajdował bliżej Słońca niż Neptun.

949 Obecny wygląd planet ziemiopodobnych zależy głównie od ich rozmiarów. Kiedy ulegały one kondensacji z obłoku gazowo-pyłowego, zawierały dużą liczbę pierwiastków promieniotwórczych rozłożonych dość równomiernie w ich wnętrzu. Podczas rozpadu tych pierwiastków wydzielano się ciepło, które dodaje się do ciepła, jakie po-

wstało w procesie tworzenia się planety. Ciepło to musi być odprowadzone do powierzchni planety i wysłane w przestrzeń. Jeżeli planeta jest mała, to ma niewiele materiałów promieniotwórczych, tworzą się więc małe ilości ciepła. Ciepło to może być odprowadzone z wnętrza do powierzchni za pomocą procesu przewodzenia i wypromieniowane z powierzchni w przestrzeń. Takimi planetami są Merkury, ziemski Księżyc i Mars. Kiedy małe planety ulegną zestaleniu, ich powierzchnia przyjmuje postać sztywnej, niezmiennej skorupy. W dużych planetach jest zbyt dużo ciepła, by mogło odplynąć w kierunku powierzchni poprzez przewodzenie, a więc rozpoczyna się proces konwekcji (patrz rozdział dotyczący płyt tektonicznych). Wśród planet typu ziemskiego tylko Ziemia jest wystarczająco duża, żeby wytwarzać dużo ciepła i wykazywać aktywność tektoniczną.

950 Gdyby Ziemia była trochę mniejsza, nie byłoby nas tutaj. Jeżeli ruch płyt tektonicznych i towarzyszące mu zmiany klimatu odgrywały ważną rolę w przebiegu ewolucji, to jest prawdopodobne, że inteligentne życie istnieje na Ziemi

przez przypadek – przypadek, dzięki któremu Ziemia jest trochę większa niż Wenus. Jeżeli jest to prawda, to szansa znalezienia istot pozaziemskich gdzieś we Wszechświecie jest o wiele mniejsza, niż myśli większość ludzi.

Zewnętrzne warstwy Słońca

951 Patrzenie w głąb Słońca przypomina trochę spojrzenie w głąb stawu wypełnionego brudną wodą. W Słońcu bowiem widać coś do głębokości prawie 500 km, lecz nie głębiej. Zewnętrzna część Słońca, która odpowiadałaby powierzchni, gdyby to było ciało stałe, jest nazywana fotosferą (sferą światła). Powyżej fotosfery znajdują się dwie inne warstwy – chromosfera (sfera barwy), która rozciąga się ponad fotosferą na odległość kilku tysięcy mil, i korona słoneczna. Większość aktywności, jaką wiążemy ze Słońcem, na przykład plamy na Słońcu, protuberancje, bryzgi słoneczne (patrz niżej), zachodzi w fotosferze i chromosferze. Chromosfera otrzymała swoją nazwę ze względu na to, że zawie-

ra gazowy wodór, który emituje czerwone światło obserwowane przez teleskopy słoneczne już w XIX stuleciu.

Tajemnica

952 Dlaczego korona jest tak gorąca? W przeciwieństwie do tego, czego można by się spodziewać, korona jest bardzo gorąca – o wiele gorętsza niż fotosfera. Co więcej, staje się tym gorętsza, im dalej znajduje się od powierzchni. Osiąga temperatury maksymalne rzędu kilku milionów stopni. Jest to zdumiewające – to tak jakby na szczycie Mount Everest było cieplej niż na poziomie morza. Jedną z prób rozwiązania tej zagadki jest teoria, że komórki konwekcyjne, jakie powstają na powierzchni Słońca, mieszają się i tworzą fale dźwiękowe, które przemieszczają się w chromosferze i rozgrzewają ją. Inna teoria głosi, że rozgrzanie pochodzi z energii pola magnetycznego.

953 Mimo że korona ma tak nadzwyczajnie

wysoką temperaturę, mógłbyś zanurzyć w niej dłoń i nic nie poczuć. Atomy w koronie mają ogromną energię. Tak wielką, że większość z nich straciła prawie wszystkie elektrony. Atomy są jednak bardzo rozproszone, więc w rękę trafiłoby ich tylko kilka i całkowita energia, jaką otrzymałaby ręka, byłaby niewielka.

954 Na Słońcu obserwujemy protuberancje i rozbłyski. Najbardziej uderzającymi zjawiskami, które prawdopodobnie byś dostrzegł, gdybyś się przyjrzał Słońcu, są wielkie łuki i pętle płonącej materii, podnoszące się z jego powierzchni i opadające na nią z powrotem. Te tzw. protuberancje pojawiają się zazwyczaj w pobliżu plam słonecznych i są związane z aktywnością pola magnetycznego Słońca. Na ogół utrzymują się przez kilka dni.

Czasami następuje gwałtowny rozbłysk i w przestrzeń są wyrzucane strumienie bardzo szybkich cząstek. Kiedy cząstki wielkiego rozbłysku słonecznego osiągają atmosferę Ziemi, wówczas przez kilka dni zakłócają łączność radiową.

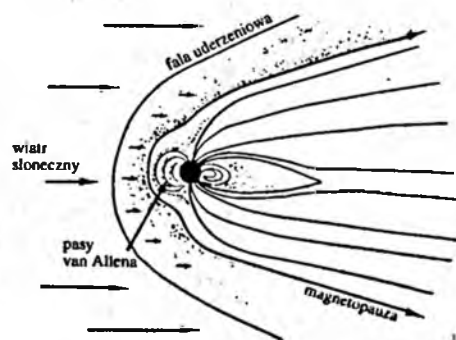
955 Rozbłyski słoneczne są głównym zagrożeniem dla astronautów. Możliwość pojawienia się wielkiego rozbłysku na Słońcu w chwili przebywania astronautów na orbicie wokół Księżyca była jednym z największych zmartwień podczas misji Apollo. Nie osłonięty statek kosmiczny otrzymałby wtedy śmiertelną dawkę promieniowania.

956 Pole magnetyczne Słońca nie jest niczym nadzwyczajnym. Jest tylko kilka razy

silniejsze niż ziemskie, chociaż zmienia się nieregularnie.

Interesującą cechą pola magnetycznego Słońca jest to, że rozciąga się daleko w przestrzeń. Słoneczne pole magnetyczne można uznać za strukturę, która wiąże cały Układ Słoneczny. W tym wszystko obejmującym polu magnetycznym są osadzone pola magnetyczne każdej z planet (i związane z nim na stałe).

957 Słońce stale emituje cząstki, które płyną przez Układ Słoneczny. Zjawisko to nazywa się wiatrem słonecznym. Można sobie wyobrazić, że czą-



Pole magnetyczne Ziemi odkształcone przez wiatr słoneczny.

tki te ślizgają się wzdłuż linii pola magnetycznego jak koraliki wzdłuż drutu.

Wiatr słoneczny dociera do każdej planety i zniekształca jej pole magnetyczne tak, że jest ono ściśnięte od strony skierowanej ku Słońcu i rozciągnięte od strony przeciwnej. Powyżej został przedstawiony szkic ziemskiego pola magnetycznego (magnetosfery) odkształconego przez wiatr słoneczny.

Opisując pole magnetyczne, astronomowie często używają terminów dotyczących płynącej wody. Na przykład skupianie się pola magnetycznego przed planetą nazywane jest falą czołową wskutek podobieństwa do wody gromadzącej się przed poruszającą się łodzią.

Planety

Poniżej przedstawione są ważne fakty dotyczące każdej z dzieć planety w Układzie Słonecznym. Na końcu umieszczono tabelę z odpowiednimi danymi.

958 Merkury. Planeta najbliższa Słońcu. Okres jej obiegu dookoła Słońca wynosi osiemdziesiąt osiem dni. Jest wi-

doczna z Ziemi jako gwiazda poranna i wieczorna. Dawniej sądzono, że podobnie jak Księżyc, Merkury zwraca się do Słońca zawsze tą samą stroną. Na ten temat napisano wiele cudownych utworów fantastyczno-naukowych. Na nieszczęście dla autorów planeta obraca się i każda jej półkula dostaje przynależną część światła słonecznego.

Merkury nie ma atmosfery. Jego powierzchnia, zszpecona dziurami kraterów, wygląda podobnie jak powierzchnia Księżyca. Wnętrze planety jest nieco podobne do ziemskiego, z metalowym jądrem otoczonym warstwą minerałów krzemianowych. W przeciwieństwie jednak do Ziemi budowa Merkurego jest sztywne, zestalona i nieruchoma.

959 Wenus. Planeta najbardziej podobna do Ziemi. Temperatura na jej powierzchni jest wysoka – około 470°C. Wiemy, że przyczyną tak wysokiej temperatury jest efekt cieplarniany spowodowany przez duże ilości pary wodnej i dwutlenku węgla w atmosferze Wenus. Planeta jest otulona wieloma warstwami chmur, więc informacje o jej powierzchni były trudne do zdobycia tradycyjnymi sposobami.

Niemalą powieści napisano o bagnach na Wenus – dawniej wyobrażano sobie, że Wenus przypomina Everglades na Florydzie, tylko jeszcze większe i bardziej bagniste. Znając temperaturę powierzchni, wiemy obecnie, że jest to niemożliwe. Mamy dużo informacji o warunkach panujących na powierzchni Wenus, ponieważ lądowały na niej radzieckie sondy kosmiczne i przesłały zarówno obraz powierzchni, jak i wiele innych danych.

Obecnie mapy radarowe powierzchni Wenus zawdzięczamy satelitom umieszczonym wokół niej na orbicie. Na planecie wykryto wulkany, lecz jej aktywność tektoniczna wydaje się znikoma.

Pytanie

Dlaczego Wenus i Merkury są widoczne tylko jako gwiazdy poranne lub wieczorne? Odpowiedź: Ponieważ nie mogą nigdy być z tyłu za Ziemią. Tylko w takim przypadku można byłoby je zobaczyć w środku nocy.

960 Układ Ziemia-Księżyc. Ziemia jest właściwie jedyną planetą w Układzie Słonecznym, która ma aktywność tek-

toniczną, jedyną, która ma ciekłą wodę na powierzchni, i jedyną, na której istnieje życie.

Księżyc jest jedynym ciałem niebieskim, którego wygląd można obserwować gołym okiem. „Twarz” Księżyca jest znana nam wszystkim od dzieciństwa. Jego ciemne powierzchnie, zwane *mare* (od łacińskiego słowa oznaczającego morze), są w rzeczywistości dawnymi wylewami bazaltu. Sądzimy, że utworzyły się one wtedy, gdy Księżyc ostygł na tyle, by mieć skorupę, ale pod nią był ciągle jeszcze płynny. Załamanie skorupy i wypływ lawy mogły być spowodowane uderzeniem dużego meteorytu. Właśnie zestaloną lawę widzimy teraz jako morza księżycowe.

Na Księżycu są również wyżyny, ukształtowane z pierścieni kraterów, oraz łańcuchy górskie, takie jakie występują na Ziemi.

Astronauci z misji Apollo zostawili na powierzchni Księżyca przyrządy umożliwiające badanie księżycowych „trzęsień ziemi” i dzięki temu możemy mieć dość dobry obraz wnętrza Księżyca.

Chociaż nie wiemy dokładnie, jak Księżyc powstał, wiadomo, że stało się to w tym samym czasie, kiedy powstała Ziemia. Z tego

powodu datowanie skał księżycowych przywiezionych przez astronautów z misji Apollo jest ważne nie tylko dla oceny wieku Księżyca, lecz także wieku naszej planety i innych planet Układu Słonecznego. Wiek ten wynosi, jak sądzimy, 4,6 miliarda lat.

961 Mars. To najbardziej odległa od Słońca planeta ziemopodobna, o połowę mniejsza od Ziemi. „Rok” Marsa jest równy dwóm latom ziemskim i możemy zaryzykować twierdzenie, że ma pory roku, ponieważ obserwuje się powstawanie i znikanie czap lodowych na biegunach. Czapy lodowe Marsa to nie zamrznięta woda, tylko dwutlenek węgla (suchy lód). Możliwa jest też obserwacja zmian pogody na Marsie w postaci ogromnych burz pyłowych. Można się spotkać z opinią, że chociaż obecnie nie ma wody na powierzchni Marsa, była tam w przeszłości. Dowodem na to jest istnienie zerodowanych tworów, wyglądających jak doliny rzek utworzone przez płynącą wodę.

962 Misja Vikingów dostarczyła najlepszych informacji na temat warunków panujących na Marsie. 20 lipca 1976 r.

amerykański lądownik Viking I wylądował na Marsie. Był to pierwszy obiekt, który znalazł się na innej planecie. Wkrótce po nim wylądował Viking II. Za ich pośrednictwem otrzymaliśmy niezapomniane obrazy różowego nieba Marsa. Przeprowadzono także doświadczenia chemiczne, za pomocą których poszukiwano dowodów istnienia życia na siostrzanej planecie. Nie otrzymano żadnych wyników, których nie można byłoby wyjaśnić jako prostych reakcji chemicznych między związkami należącymi do materii nieożywionej.

963 Na Marsie znajduje się największa góra w Układzie Słonecznym. Olympus Mons, wygasły (?) wulkan, ma 25 km wysokości i niemal 600 km średnicy u podstawy. Jest tak duży, że rozciągałby się od Bostonu do Baltimore. Tej wielkości wulkan na Ziemi załamałby się pod własnym ciężarem, natomiast mniejsza grawitacja Marsa umożliwia istnienie gór o takich wysokościach.

964 Nie ma kanałów na Marsie. W latach osiemdziesiątych ubiegłego stulecia włoski astronom Giovanni Schiaparelli ogłosił, że odkrył na Marsie coś, co nazwał *canali*. Po włosku słowo to znaczyło rów lub koryto rzeki, ale zostało niefortunnie przetłumaczone na angielski jako kanał. Tymczasem kanał jest tworem sztucznym, dziełem istot inteligentnych. W pierwszych latach naszego wieku amerykański astronom Percival Lowell (1855–1916) przeprowadził rozległe badania, na podstawie których stwierdził, że powierzchnia Marsa jest poprzecinana „kanalami”. Obserwował nawet zmiany ich koloru z brązowego na zielony podczas zmiany pór roku. Obliczył także prędkość, z jaką wegetacja postępowała wzdłuż tych kanałów w kierunku południowym – z dokładnością do dwóch miejsc po przecinku.

965 Na powierzchni Marsa nie ma także żadnej twarzy. Ostatnio w prasie brukowej znalazłem doniesienie o „twarzy” na Marsie – kilka niskich wzgórz, które w pewnym oświetleniu wyglądały jak twarz ludzka. Sam możesz ocenić powagę tych doniesień, kiedy dodam, że miała to być twarz Elvira Presleya.

966 Co zobaczył Lowell? Niedawno dostałem list od Clyde'a Tombaugh, jednego z wielkich nestorów społeczności astronomów i odkrywcy Plutona (patrz niżej). Tombaugh wyjaśnił, że możliwość obserwacji kanałów przez Lowella wynikała ze sposobu jej prowadzenia. Wskutek złudzenia – nie połączone ze sobą punkty wyglądały jak linie. Lowell z pewnością nie zmyślił wyników swoich obserwacji, tylko stał się ofiarą niewłaściwej kalibracji aparatury.

967 Nie ma dowodów istnienia życia na Marsie ani na żadnym innym ciele w Układzie Słonecznym. Na Wenus, Księżycu i Marsie – trzech ciałach niebieskich, które odwiedziłem (osobście bądź za pomocą sond), nie znaleziono żadnych dowodów na istnienie życia. Okazałoby się to całkowitą niespodzianką dla uczonych jeszcze w latach pięćdziesiątych, kiedy wierzono, że przynajmniej Wenus i Mars były siedliskiem życia. Dziś ja, który chcę wierzyć, że życie jest powszechnym zjawiskiem we

Wszelshwiecie, przynaglaję do wysyłania wypraw na Marsa w poszukiwaniu skamieniałości. Są oni zwolennikami poglądu, że życie (podobnie jak ciekła woda) kiedyś tam istniało.

968 Pas planetoid. Pas planetoid jest dużym zbiorem luźnego materiału o rozmiarach od kamyków do ciał o średnicy kilkuset mil. Pas ten znajduje się w przestrzeni między orbitami Marsa i Jowisza. W przeciwieństwie do tego, w co każę nam wierzyć komiksy o Supermanie, pas planetoid nigdy nie był planetą, która rozpadła się na kawałki. Jest zbiorowiskiem brył, które nigdy planety nie utworzyły. Uczni sądzą, że to grawitacyjne oddziaływanie Jowisza nie dopuściło do tego, by planetoidy połączyły się w planetę.

969 Jowisz. Największa planeta, Jowisz, obraca się wokół swej osi z dużą prędkością, jej „dzień” trwa tylko dziesięć godzin. Według informacji, jakie posiadamy, gęstość Jowisza różnie z głębokością. Próba stanu na nim zakończyłaby się tak jak próba utrzymania się na powierzchni koktajlu mlecznego, ponieważ

żadna z planet jowiszowych nie ma „powierzchni” w sensie stałego gruntu.

Wskutek szybkich obrotów atmosfera Jowisza jest rozdzielona na pasma o różnych kolorach. W głębi planety może znajdować się małe skaliste jądro o rozmiarach jądra Ziemi.

970 Księżycy Jowisza. Jowisz ma wiele księżyców, wszystkie okrążają olbrzymią planetę podobnie jak planety – Słońce. Cztery najjaśniejsze nazywano księżycami galileuszowymi, ponieważ odkrył je Galileusz za pomocą swego teleskopu. Liczba księżyców Jowisza stale rośnie wraz z poprawą jakości instrumentów pomiarowych – teraz znamy ich już szesnaście.

Niektóre księżycy Jowisza są całkiem duże i pod względem budowy przypominają planety typu ziemskiego. Oto kilka cech charakterystycznych. Callisto i Ganimedes są prawdopodobnie zbudowane z wody w stanie stałym. Powierzchnia Ganimedesa jest najbardziej zryta kraterami w całym Układzie Słonecznym. Na Io zaobserwowano aktywne wulkany i z tego powodu stała się ulubionym obiektem badań geologów.

971 Patrząc przez teleskop na Jowisza, można zobaczyć coś, co wygląda jak duże czerwone oko i przesuwają się wraz z obrotem planety. Jest to tzw. Wielka Czerwona Plama – gigantyczny cyklon, który trwa od tak dawna, jak dawno obserwujemy tę planetę. To najbardziej niszczący kaprys pogody (jeżeli to właściwe określenie), jaki znamy. Mógłbyś wrzucić w ten wir całe Stany Zjednoczone i nie powstałaby na nim nawet zmarszczka.

972 Wulkany Io, pierwszy raz zaobserwowane przez Voyagera, wyrzucają siarkę, która stale na nowo pokrywa powierzchnię tego księżycyca. Każdy fragment powierzchni Io liczy sobie mniej niż tysiąc lat!

973 Jowisz o mało nie stał się gwiazdą. Jego masa jest tylko osiemdziesiąt razy mniejsza, niż potrzebna do osiągnięcia wystarczająco wysokiej temperatury, aby mógł nastąpić zapłon reakcji jądrowych. Niewiele zatem brako-

wało, a Układ Słoneczny miałby dwie gwiazdy. Gdyby nastąpił zapłon Jowisza, prawdopodobnie nie powstałoby życie na Ziemi, ponieważ dodatkowe promieniowanie, nawet z małej gwiazdy, lecz blisko położonej, zakłóciłoby delikatną równowagę, jaka umożliwiła powstanie życia.

974 Saturn. Saturn ze swoimi pierścieniami jest najbardziej efektowny. To gazowy olbrzym, podobnie jak Jowisz. Jest ostatnią planetą, jaką można oglądać gołym okiem. Ma dwadzieścia jeden księżyców, a jeden z nich, Tytan, to największy satelita w Układzie Słonecznym i jedyny, który ma atmosferę (składającą się z azotu, metanu i argonu). Temperatura powierzchni Tytana waha się w pobliżu 280°C. To czyni warunki panujące na nim podobnymi do ziemskich w czasach, gdy jeszcze nie rozwinęło się życie. Powierzchnia Tytana może więc być pokryta cząsteczkami organicznymi wszystkich rodzajów, unoszący mi się w ciekłym metanie.

Pierścienie Saturna przyciągają najwięcej uwagi. Są to wąskie pasma rumoszu, najczęściej w po-

staci skal i lodu. Między astronomami trwają do dziś spory, czy są to pozostałości po satelicie, który został rozerwany przez siły grawitacji Saturna, czy, podobnie jak pas planetoid, stanowią materiał, z którego satelita nigdy nie powstał.

975 Pierścienie Saturna są bardzo cienkie. Niektórzy astronomowie sądzą, że choć odbijają one mnóstwo światła, mają nie więcej niż 100 m grubości. Innymi słowy, cały ten niebiański cud może mieć grubość nie większą niż wysokość budynku w śródmieściu.

976 Uran. 13 marca 1781 r. astronom William Herschel, mieszkający w Bath w Anglii, zobaczył przez swój teleskop coś, co nazwał błędzącą gwiazdą lub kometą. Okazało się, że jest to Uran i Herschel zyskał sławę jako pierwszy człowiek, który odkrył nową planetę. Podobnie jak inne planety jowiszowe Uran ma budowę trójwarstwową. Planeta ta prawdopodobnie nie jest wystarczająco duża, żeby sprężyć swoją warstwę wewnętrzną do tego sto-

pnia, by mogła się stać ciałem stałym, jednak niektórzy uczeni sądzą, że jądro Urana to gęsta, lepka ciecz.

Uran ma piętnaście księżyców i wiele wąskich pierścieni, nieco podobnych do pierścieni Saturna. Pierścienie te odkryto w 1977 r., kiedy planeta przeszła przed gwiazdą. Zaobserwowano wówczas zmniejszenie się ilości światła wskutek jego absorpcji przez pierścienie.

977 Uran obraca się wokół osi „leżąc na boku”. Większość planet w Układzie Słonecznym obraca się wokół osi tak, że w ciągu doby obie półkule planety są oświetlone przez Słońce. Uran obraca się inaczej, ponieważ „leży na boku”, tzn. oś jego obrotu jest położona w tej samej płaszczyźnie co jego orbita. Tak więc na biegun południowy Urana światło pada przez pół „roku”, a przez drugie pół jest oświetlony jego biegun północny.

Pytanie

Gdzie zobaczyłbyś wschód Słońca, gdybyś mieszkał na biegunie północnym Urana? Odpowiedź: Na południu.

978 Międzyplanetarne pole magnetyczne nie ma nic wspólnego z manną. Czasem studenci przychodzą z pomysłami, na które sam bym nie wpadł. Jest to jedna z radości nauczania. Kilka razy zapytano mnie o utwory Immanuela Velikovsky'ego, więc w samoobronie przeczytałem jego książkę *Światy w zderzeniach*. Przedstawiona tam została dziwna teoria dotycząca historii Układu Słonecznego, według której Venus była wyrzucona z Jowisza i mijając Ziemię w swej drodze na obecną orbitę, spowodowała spadanie manny na dzieci Izraela. Wszystko to ma być w jakiś sposób związane z siłami magnetycznymi i obraz sieci magnetycznych, o którym mówiłem wyżej, jest przytaczany na dowód, że tak mogło być. Niestety, siły związane z międzyplanetarnym polem magnetycznym są za słabe (miliardy razy), by przemieszczać planety.

Poza tym ciekawe jest, skąd Venus wiedziała, że należy wstrzymać deszcz manny na czas szabasu – o takiej przerwie wyraźnie wspomina *Biblia*.

979 Neptun. 25 sierpnia 1989 r. przelot Voyagera obok Neptuna wyjaśnił wiele tajemnic, jakie otaczały tę planetę, dostarczył jednak nowych zagadek. Podobnie jak inne planety jowiszowe Neptun ma osiem znanych księżyców i układ pierścieni. Wiatry na jego powierzchni osiągną największą prędkość w całym Układzie Słonecznym, dochodząc do 2400 km na godzinę. Neptun ma swój własny długotrwały cyklon, nazwany Wielką Czarną Plamą na podobieństwo Wielkiej Czerwonej Plamy Jowisza.

980 Neptun był pierwszą planetą odkrytą po uprzednim wskazaniu jej położenia. Obserwując w XIX w. odchylenia orbity Urana od przewidzianego toru, astronomowie obliczyli, jak duża powinna być i gdzie powinna leżeć planeta, która spowodowała te odchylenia. Skierowali teleskopy w to miejsce i 23 września 1845 r. odkryli Neptuna.

981 Misja Voyagerów przyniosła więcej informacji o zewnętrznych planetach niż wszystkie inne naukowe przedsię-

wzięcia. Voyager I i II zostały wystrzelone w sierpniu i wrześniu 1977 r. Ich misję zaplanowano tak, by wykorzystać rzadką okazję korzystnego ustawienia planet, pozwalającą statkowi kosmicznemu w czasie jednej podróży odwiedzić wszystkie (oprócz jednej) planety jowiszowe. Voyager I odgrywał rolę przewodnika, odwiedzając Jowisza i Saturna kilka miesięcy wcześniej niż jego brat wyposażony w bogatszą aparaturę. Na podstawie danych z Voyagera I uczeni wiedzieli, jakich zagrożeń można się w tym locie spodziewać. Oba Voyagery minęły Jowisza w 1979 r., a Saturna w latach 1980–1981. Voyager II kontynuował lot w kierunku Neptuna. Zbliżenie do niego nastąpiło w 1989 r. Oto zestawienie wyników misji: Voyagery odwiedziły cztery gazowe planety, dwanaście dużych księżyców, trzy układy pierścieni (zawierające tysiące pierścieni pojedynczych), przesłały 5 bilionów bitów danych, w tym 100 tysięcy zdjęć. Voyager II opuścił obszar wpływu pola magnetycznego naszego Słońca prawie za dwadzieścia lat. W 8571 r. minie Gwiazdę Barnarda, a w 296036 r. – Syriusza, najjaśniejszą gwiazdę na naszym niebie.

982 Pluton. Pod wieloma względami to najdziwniejsza z planet. Jest mała i ma ogromny księżyc, nazwany Charonem. Orbita Plutona jest silnie eliptyczna, co powoduje zmiany „pór roku” w tym sensie, że kiedy planeta znajduje się blisko Słońca, ciekły metan na jej powierzchni wrze, tworząc coś w rodzaju mgły. Kiedy Pluton znajduje się dalej od Słońca, zaczyna padać śnieg ze stałego metanu.

983 Na Plutonie wcale nie jest ciemno. Choć znajduje się w wielkiej odległości od Słońca, jego powierzchnia jest prawdopodobnie tak jasna jak Ziemia w księżycową noc. Przyczyną tego zjawiska jest właśnie metan, biały jak świeżo spadły śnieg.

984 Odkrycie Plutona nastąpiło bardziej dzięki przypadkowi niż wskutek wcześniejszych obliczeń. Amerykański astronom Percival Lowell przewidywał istnienie dziewiątej planety (nazwał ją Planetą X), opierając się na zakłóceniach ruchu Neptuna na jego orbicie. Dzisiaj ast-

ronomie utrzymują, że te „zakłócenia” nie były rzeczywiste, że był to wynik błędu przyrządu. Lowell przedstawiał także obliczenia dotyczące miejsca, gdzie ta planeta powinna się znajdować. Warto wspomnieć, że zmieniał te miejsca po kolejnych przeliczeniach. W 1930 r. Clyde Tombaugh odkrył planetę, którą teraz nazywamy Plutonem, nie w jakimś wskazanym miejscu, lecz w wyniku systematycznego przeszukiwania nieba. Przypadkowo pozycja, w jakiej ją znalazł, była dość bliska ostatniej pozycji, jaką podał Lowell. Czy było to po prostu szczęście? Nigdy się tego nie dowiemy.

985 Kiedy Pluton został odkryty, zakładano, że ma masę mniej więcej taką jak Ziemia. Od tego czasu obliczenia masy Plutona dają malejące ciągle wyniki. Pewien astronom pokazał mi podczas rozmowy wykres, na którym przedstawiono na jednej osi oszacowaną masę Plutona, a na drugiej osi – datę dokonania obliczeń. Jeżeli przez te punkty przeprowadzić linię, okaże się, że w latach osiemdziesiątych masa planety powinna była osiągnąć zero. Zaowocowało to artykułem pt. *O grożącym nam zniknięciu planety Pluton.*

ODLEGŁOŚCI

Jeżeli założymy, że Ziemia jest pięciokilogramową piłką do koszykówki położoną 30 m od Słońca, to:

- Merkury jest ważącą 0,25 kg piłką do baseballu 13 m od Słońca,
- Wenus – czterokilogramową piłką do koszykówki 23 m od Słońca,
- Mars – kantelupą (odmiana melona) o wadze 0,5 kg 50 m od Słońca,
- Jowisz – siedmiometrową ciężarówką 170 m od Słońca,
- Saturn – małym samochodem 330 m od Słońca,
- Uran – kanapą ważącą 75 kg 700 m od Słońca,
- Neptun – nieco cięższy niż Uran ponad 850 m od Słońca,
- Pluton – ważącą ćwierć unci piłką baseballową 1300 m od Słońca.

Tabela długości „doby” i „roku”

Planeta	Doba	Rok
Merkury	59 dób	3 miesiące
Wenus	243 doby	7 miesięcy
Mars	1 doba	1 rok i 10,5 miesiąca
Jowisz	10 godzin	12 lat
Saturn	10 godzin	29,5 roku
Uran	1 doba	84 lata
Neptun	1 doba	165 lat
Pluton	6 dób	248 lat

Warto zwrócić uwagę, że Pluton od momentu odkrycia zdołał przebyć zaledwie 20 procent swej orbity i poprzednio był na obecnej pozycji jeszcze przed wojną o niepodległość Ameryki.

986 **Obłok Oorta.** Daleko na zewnątrz orbity Plutona obiega Słońce duży zbiór brudnych kul śniegowych – potencjalnych komet. Istnienie ich pierwszy zasugerował holenderski astronom Jan Oort (stąd nazwa obłoku). Od czasu do czasu jedna z tych kul uwalnia się i pojawia w wewnętrznej części Układu Słonecznego jako kometta. Wniosek o istnieniu tego obłoku Oort wysnuł, gdy śledził orbity nadlatujących komet wstecz aż do punktu, z którego przybywały.

Meteory i meteoryty

987 **Odlamki skał spadają na Ziemię przez cały czas.** Są to odlamki skał wszystkich rozmiarów – od ziaren piasku aż do brył wielkości góry. Z tego powodu Ziemia staje się cięższa o 20 ton dziennie. Powszechnie znana „spadająca gwiazda” lub meteor to ślad światła na niebie pojawiający się, gdy

bryłka materii wielkości ziarenka piasku spala się w atmosferze. Jeżeli obiekt jest mały, to spali się całkowicie, zanim wejdzie głęboko w atmosferę. Większe obiekty pozostawiają większe ślady, mogą nawet przetrwać przelot przez atmosferę i spaść na Ziemię.

988 **Spadające ciała, które dołatuje do powierzchni Ziemi, nazywane jest meteorytem.** Większe obiekty mają obtopioną zewnętrzną skorupę, lecz pozostaje w nich dość materiału, by mogły dolecieć aż do powierzchni Ziemi. Takie meteoryty można oglądać w muzeach, gdzie łatwo je rozpoznać po wyglądzie obtopionej skorupy. Znajdowano meteoryty różnych wielkości – od ziaren żwiru do obiektów ważących dziesiątki ton.

989 **Uczeni w dawnych czasach z niechęcią przyjmowali pogląd, że obiekty mogą spadać z nieba.** Na przykład Edmund Halley twierdził w 1718 r., że szczególnie widowiskowa „spadająca gwiazda”, widziana niemal w całej Europie, była w rzeczywistości pożarem „palnych par siarki” w górnych warstwach at-

mosfery. Nawet Thomas Jefferson, gdy poinformowano go, że dwóch profesorów z Yale potwierdza upadek meteorytu w Nowej Anglii, podobno stwierdził: „Prędzej uwierzę, że dwóch amerykańskich uczonych kłamie, niż że kamienie spadają z nieba”.

990 **Krater meteoru w Arizonie** nie powstał w wyniku uderzenia ogromnego obiektu. Krater w pobliżu Flagstaff w Arizonie jest prawdopodobnie najlepiej na świecie znanym dowodem na uderzenie w Ziemię dużego obiektu. Olbrzymia skała z materiału bogatego w żelazo, ważąca prawie 10 tysięcy ton, spadła na równinę Arizony blisko 25 000 lat temu, wybijając krater o średnicy około 1700 m. W porównaniu z upadkami innych meteorytów ten był dość umiarkowany.

991 **Wydarzenie, jakie nastąpiło nad Syberią nad Tunguską, było upadkiem meteorytu.** W 1908 r. meteoryt wszedł w atmosferę nad Syberią, rozpadł się na kawałki i uderzył w ziemię niedaleko rzeki Tunguzki. Katastrofa ta położyła las na obszarze

setek kilometrów i wywołała w atmosferze falę uderzeniową, która przeszła nad całym światem. W trakcie późniejszych poszukiwań znaleziono kawałki stopionej skały z tego meteorytu.

Zdarzenie nad Tunguzką miało swoje własne życie w legendzie. Winę za nie miał podobno ponosić wybuch wulkanu, a nawet uderzenie „czarnej dziury”. Przyczyna tego zjawiska jest, niestety, o wiele bardziej prozaiczna.

992 Na Ziemi znaleziono ponad sto dwadzieścia kraterów meteorytowych. Geolodzy odkryli ponad sto dwadzieścia miejsc, gdzie w przeszłości upadły meteoryty. Spotyka się zarówno kraterki mające setki kilometrów średnicy, jak i dziury o średnicy kilkuset metrów, z oryginalnym meteorytem jeszcze ciągle na dnie. Można zaryzykować twierdzenie, że większość kraterów nie została jeszcze odkryta. Powód jest prosty. Meteoryty spadające na Ziemię mają trzy szanse na cztery, że wpadną do oceanu. Dno oceanów nie jest dokładnie zbadane i nikt nie wie, co tam jeszcze się kryje. Nawet na lądzie stare kraterki, zwłaszcza te duże, są trudne do rozpoznania. Jak każda dziura w ziemi, wypełni

się wodą i stały się jeziorami. Później stopniowo się zamulity. Dzisiaj te kraterki stanowią koliste pasmo wzgórz o średnicy 30–50 km, z płaską równiną między nimi. Na przykład Manacougan w prowincji Quebec, zaznaczony przez pierścień jezior o średnicy 100 km, jest rozpoznawany jako krater tylko na zdjęciach satelitarnych.

Wiemy, że jesteśmy częścią Układu Słonecznego, że nasza planeta jest jedynie składnikiem całości. Nie zaszkodzi jednak przypominać sobie o tym, gdy spadają nam na głowy skały wielkości góry co kilkaset milionów lat. Istnienie dużych kraterów to dowód, że Ziemia nie jest izolowana w przestrzeni.

993 Uczni długo nie chcieli zaakceptować idei, że jakieś bryły skał spadają z nieba, ani też nie chcieli pogodzić się z faktem, że spadające z nieba obiekty mogą zostawić ślady na ziemi. Na przykład aż do lat pięćdziesiątych krater meteorytowy w Arizonie był uważany za wynik wydzielenia się „baniek gazu” z ziemi. Jeden z meteorytów, który spadł w Argentynie i ciągle leżał na dnie dziury, geologowie uważali za dzieło „prehistorycznych Indian,

którzy wykopali dziurę, a następnie spalili w niej święty obiekt żelazny”.

994 We wczesnej historii Układu Słonecznego deszcz meteorytów musiał być o wiele potężniejszy niż obecnie. Tuż po uformowaniu się planet musiało się znajdować mnóstwo różnych odpadków na orbitach dookoła Słońca. Było to powodem znacznie obfitszym niż obecnie deszczów meteorytów, spadających na wszystkie planety (także na Ziemię). Astronomowie niekiedy nazywają ten czas Wielkim Bombardowaniem. Ciągle jeszcze możemy zobaczyć kraterki pozostałe po tym bombardowaniu na Księżycu, Merkury i innych obiektach w Układzie Słonecznym, pozbawionych atmosfery.

995 Kraterki na Księżycu ciągle jeszcze są, podczas gdy na Ziemi już zwiędziały. Prawdopodobnie na Ziemi we wczesnym jej okresie powstały bardzo duże kraterki. Jednak od tej pory siły erozji i wietrzenie zniszczyły prawie wszystkie. Wskutek tego nasza planeta (a także Mars i Wenus, na których również zachodzą zmiany pogody) wydaje się

pozbawiona kraterów, podczas gdy ciała niebieskie bez atmosfery (a stąd także bez zmian pogody), takie jak Księżyc i Merkury, kraterów mają pod dostatkiem.

996 Meteoryty przekazują ważne informacje o początkach Układu Słonecznego. Ponieważ meteoryty nie znalazły się we wnętrzu planet wtedy, kiedy powstawał Układ Słoneczny, stanowią „muzeum” materiałów, z których zbudowane zostało Słońce i planety. Krążyły nie zmienione w przestrzeni przez miliardy lat. Kiedy spadną na Ziemię, są bardzo skrupulatnie badane przez chemików i geologów, ponieważ zawierają w sobie informacje o początkach Układu Słonecznego. Badaniom tym przyświeca myśl, że łatwiej nam będzie dowiedzieć się, jaka była historia Ziemi, jeżeli poznamy jej początki.

997 Część meteorytów pochodzi z pasa planetoid, inne są spalonymi kometami. Od czasu do czasu odłamki materii w pasie planetoid zderzają się ze sobą, co powoduje zmianę ich kierunku ruchu. Czasem nowy kierunek ruchu prowadzi je do wnętrza orbity Ziemi. Okruch

skalny na takiej orbicie jest nazywany planetoidą typu Apolla. Co jakiś czas, na zasadzie przypadku, obiekt taki trafia w Ziemię.

Drugim głównym źródłem meteoroidów są komety z obłoku Oorta. Kiedy kometa pierwszy raz pojawia się w Układzie Słonecznym, ciepło Słońca odparowuje z niej cały materiał, który może być stopiony. Po wielu powrotach niemal cała kometa jest stopiona, tylko jej rdzeń pozostaje w postaci skały. Astronomowie oceniają, że prawie połowa dużych obiektów, których orbity mogą doprowadzić do kolizji z Ziemią, to wypalone komety.

998 Jednym z najbardziej zdumiewających odkryć ostatnich kilku lat są niezwykle rzadkie meteoroidy, które zrodziły się na Marsie lub Księżycu. Wyjaśnia się to następująco. Upadek dużego meteoroidu na jedno z tych ciał (tzn. na Marsa lub Księżyc) spowodował wyrzucenie w przestrzeń fragmentów skal pochodzących z uderzonego ciała. Odkłamki te weszły na różne orbity i niektóre spadły na Ziemię. W tej chwili mamy mniej niż pół tuzina zweryfi-

kowanych meteoroidów tego typu.

W innych meteoroidach uczeni znaleźli małe ziarna materiału (głównie diamentu), który wydawał się inny niż materiał spotykany w Układzie Słonecznym. Przypuszcza się, że ziarna te powstały w supernowej na długo przed powstaniem Słońca, podróżowały w przestrzeni i w końcu zostały przyłączone do materiału, z którego powstały planety.

999 Antarktyda jest jednym z najlepszych miejsc poszukiwania meteoroidów. Zwykle rozpadają się one uderzając w ziemię lub pozostają tam, gdzie upadły, zakopując się w niej głęboko. Czasami jednak spadają na ogromne pola lodowe Antarktydy. Meteoroid, który zagłębił się w lodzie, jest unoszony przez powolny sptyw lodowca. Na Antarktydzie są takie miejsca, gdzie lód wspina się na stok wzgórza. Kiedy dostanie się na szczyt, to wiejący wiatr powoduje „wyparowanie” lodu, a meteoroidy pozostają. Naukowcy mogą chodzić wzdłuż grzbietu i je zbierać. W ten sposób całe pole lodowe służy bada-

czom jako zbiornik i transporter meteoroidów. Wiele niezwykłych meteoroidów, jak te, które pochodzą z Marsa lub Księżycy, odkryto na lodowcach Antarktydy.

1000 Meteoroidy są źródłem minerałów potrzebnych człowiekowi. Ziemia, gdy powstawała, przeszła przez etap stopienia i wiele ciężkich materiałów (jak żelazo) zanurzyło się w głąb planety. To, co pozostało na powierzchni – co wydobywamy i zużywamy – jest zaledwie fragmentem wielkich rezerw. Planetoidy nigdy nie przeszły przez proces stopienia, ponieważ nigdy nie weszły w skład planet. Planetoidy są więc bogate w materiały, które mają dla nas dużą wartość. Obfitują w żelazo, nikiel, kobalt, złoto i inne metale ciężkie. Pewni wizjonerzy wykazali, że zawartość jednej planetoidy wystarczyłaby ludzkości na setki lat, nawet

przy obecnej szybkości konsumpcji. Z moich własnych obliczeń wynika, że handlowa wartość minerałów w planetoidzie o średnicy kilku kilometrów przekracza prawdopodobnie kwotę kilku bilionów dolarów. Kiedyś, w następnych wiekach, ludzkość odkryje to niezmiernie bogate źródło krążące w przestrzeni nad naszymi głowami i zacznie je eksploatować. Jednym z korzystnych następstw tego odkrycia będzie zniknięcie z powierzchni Ziemi kopalni odkrywkowych i ochrona, tu na Ziemi, środowiska naturalnego.

1001 Gorąco polecam ci lekturę wielu wspólnych książek, które mogłyby pogłębić twoją wiedzę na temat poruszonych tu zagadnień i poszerzyć horyzonty zainteresowań. Nie zwlekaj! Czas ucieka!

Indeks

Liczby przy hasłach odpowiadają numerom notek.

- Aberracja chromatyczna 383
Aborcja 91
Adaptacja, przystosowanie 171
Adenozynodwufosforan (ADP) 303
Adenozynotrójfosforan (ATP)
 przemiana w energię 303
 przemiana w światło 308
 w oddychaniu 309
Adhezja (przyleganie) 521
Adrenalina 59
AIDS 298, 325
Akceleratory 619–620
Aksony 55
Akumulacja wypadków 90
Alvarezowie 215
Aminokwasy 249
Amoniak 11
Amper 455
Ampère André Marie 455
Archimedes 520
Aspect Alain 663
Astrologia 487
Astronomia 871–1000
Atlantyda 786
Atmosfera 837
 Merkurego 958
 Saturna 974
 Wenus 959
Atomowy „odcisk palca” 646
Atomy
 absorpcja światła 643, 645
 a własności materiałów 516
 chemiczna identyczność 583
 cząstki elementarne w 618
 emisja światła 642, 645
 jądro 579
 masa 579
 przyciąganie 641
 rozmieszczenie 559
Bakterie
 chlamydia 103
 chorobotwórcze 102
 Escherichia coli 36
 halobakteria 320
 riketsja 103
 symbiotyczne 96
 wiążące azot 11, 157
 w których zachodzi fotosynteza 104
Barion 628
Barometr 847
Bell John 662
 twierdzenie Bella 662
Białka 710
 budowa 249, 251, 253
 cząsteczki 249
 pomiar liczby identycznych białek 134
 synteza 266–274
 w trawieniu 333
Biologia klasyczna 1–168
 ekosystemy 154–156
 genetyka klasyczna 108–119
 klasyfikacja istot żywych 120–135
 organizmy jednokomórkowe 95–107
 początki życia 92–94
 rozmnażanie się roślin 1–6, 140–141
 rozmnażanie się zwierząt 72–84
 rozwój roślin 8–13
 zwierzęta 14–31
Biologia molekularna 241–366
Black Davidson 135
Bohr Niels 641
 model atomu 641
 orbity 642–644
Bombikol 48
Bozon 628
„Brakujące ogniwo” 818
 Proconsul 225
Brontozaur 205
Burza 858–859
Cechy
 dominujące 114, 116
 recesywne 114, 116
Celuloza 246
Cezar Juliusz 471, 474
Chaos 633–637
 komputery w badaniu chaosu 636
 turbulencje a chaos 639
Chemia 682–733
 oceanów 833–836
 organiczna 702–705
 słowniczek terminów 706–718
Chlorofil 730
 barwa 316
 w fotosyntezie 315
Chlorofluorowe pochodne węglowodorów (CFC) 869
Chloroplasty 335
Chmury 855–859
 burza 858
 kłębiaste 855
 kłębiaste burzowe 856
 pierzaste 856
 teoria konwekcji 858
 tworzenie 855
 warstwowe 856
 wysokość podstawy 855
Chodzenie na dwóch nogach 220
Cholera 102
Cholesterol 725

- Chromosomy
 liczba 359, 360
 podwajanie 356
 umiejscowienie 356
 u roślin 2
 X 284
 Y 284
 Chrzążki 51
 Chrząższe 22
 Chwasty 9
 Ciało stałe 700
 Ciecz 700
 Ciepło
 jako energia 529
 konwekcja 543
 procesów promieniotwórczych 736
 promieniowanie 544
 przemiana energii elektrycznej w ciepło 457
 przemiana światła w ciepło 375
 przepływ 546
 przewodnictwo 542
 we wnętrzu Ziemi 740–742
 Cieśnina Drake'a 828
 Ciśnienie 517
 atmosferyczne 518
 powietrza 518
 wody 518
 w jądrze Ziemi 738
 Comte Auguste 647
 Coriolis Gaspard de 850
 Crick Francis 179
 Cukry proste 244–245
 Cyrkon 762
 Cytokininy 152
 Cytoplazma 321
 Cywilizacje pozaziemskie 967
 Czarne dziury 501, 890, 891
 Czas
 Plancka 931
 początek Wszechświata (czas zero) 940
 rezydencji 834
 wiek bezwzględny skal 754
 wiek względny skal 754–756
 względność 675
 Cząsteczki (czasami w znaczeniu związku
 chemicznego)
 budowa trójwymiarowa 704
 chlorofil 730
 ciał stałych 700
 cieczy 700
 gazów 700
 glukoza 729
 kwasy nukleinowe 260–262
 lipidy 257–259
 obecne w jedzeniu 726–728
 powszechnie używane 719
 tworzenie się 703
 węglowodany 244–248
 zasady 707
 związki chemiczne w żywych organizmach
 241–243
 Cząstki
 elementarne 617–621, 628
 model standardowy 631
 odróżnienie od fal 394–395
 Wielka Teoria Unifikacji (GUT) 632
 w mechanice kwantowej 649, 653–654, 656
 Czerwonka 102
 Dalton John 640
 nowoczesna teoria atomu 640
 Darwin Karol 172
*O powstawaniu gatunków drogą doboru
 naturalnego* 118
 Datowanie
 metodą potasu-40 760
 metodą radiometryczną 758
 metodą węgla-14 759
 metodą wzajemnego ułożenia 754
 Dawson Charles 221
 Dezoksyryboza 261
 Destylacja 715
 Deszcz 820–821, 849
 cień opadowy gór 798
 kwaśny 870
 Diagram H.–R. 875
 Dinozaury
 niewielka liczba skamieniałości 205
 wyginiecie 213–216
 zachowania społeczne 207
 związek z ptakami 208
 Diody 570
 DNA
 a dziedziczenie 263
 funkcja 112
 instrukcje rozwoju 85
 mutacje 286
 pokrewieństwo organizmów 134
 rekombinacja 289
 replikacja 264–265
 rozplecenie 265
 struktura 261
 w chloroplastach 337
 w chromosomach 356, 366
 w genach 275–276, 280, 283
 w genach recesywnych 115
 w mitochondriach 337–338
 w pierwotnych komórkach 77
 w retrowirusach 298
 w wirusach 291–292
 Dobór
 naturalny 118, 170
 sztuczny 117, 118
 Dokumentacja paleontologiczna 193–194
 Doppler Johann Christian 401
 zjawisko Dopplera 401
 Dotyk 39
 receptory 49

- Doyle Artur Conan 221
Drapieżniki 159, 168
Drewno biel 149
Dryf kontynentalny 765
Dwunukleotyd nikotynamidoadeninowy (NAD) 305
Dwupara 20
Dwutlenek węgla
 a efekt cieplarniany 867–868
 a rośliny 10
 w atmosferze 156
 w ekosystemie 156
 w fotosyntezie 313, 318
Dyfuzja 527
- Eddington Arthur Sir 495
Einstein Albert 368, 493, 496, 655, 657, 661, 666
- Ekosystemy
 ekologia 154
 krążenie azotu 157
 krążenie węgla 156
 otwarty 155
 przepływ energii 155, 159
 zamknięty 155
- Eldrige Niles 178
Elektrolyty 464
Elektromagnetyzm 434
 indukcja 407
 oddziaływania 406, 416–425
 w próżni 417
- Elektrony
 a fale radiowe 423
 a ładunek elektryczny 453
 a mikrofały 423
 a światło 372
 deficyt 452
 jako fala 387
 nadmiar 452
 orbity 687
 promieniowanie X 423
 walencyjne 687
 w pierwiastkach chemicznych 687
 w promieniowaniu β 588, 590
- Elektryczność 449–453
 indukcja 408, 409
 ładunek 559, 560
 moc 408
 napięcie 411, 456
 natężenie 411, 455
 obwód 454, 463
 opór 457, 458
 przesyłanie 411
 siły 451
- Embriony 85–89
Emocje 57, 58
Emulsja 718
- Energia
 chemiczna 533, 537
 ciepło 529
 gwiazd 872
 ilość 534
 jakość 549
 kinetyczna 530
 laserów 607
 masa 940
 mierzenie 797
 nadmiar 641
 potencjalna (rodzaje) 530
 prawo zachowania 534
 przemiana 529, 533
 przepływ w łańcuchu pokarmowym 159
 równoważność masy i energii 680
 sprawność 549
 uwalniana podczas trzęsień ziemi 794
 w fermentacji 306
 w fotosyntezie 313
 w komórkach 303–306, 309
 w parowaniu 533, 555
 w procesach promieniotwórczych 591, 601
 w procesie topnienia 555
 w procesie utleniania 533
 w świetle 643–645
 w świetle słonecznym 873
 w temperaturze zera bezwzględnego 557
 w węglowodanach 244
 wydatkowana 536
- Entropia 547
Enzymy 250
 repressor 282
 trawienne 35
 w procesie „wklejania” genów 289
- Estradiol 733
Estrogen 259
Estry 708
- Ewolucja
 adaptacja 171
 a kreacjonizm 184–186
 biologiczna 176
 chemiczna 176, 187–192
 człowieka 218–240
 dobór naturalny 170
 gadów 28
 gradualizm 178
 jako fakt 173
 kręgowców 23
 plazów 27
 płetw w nogi 27
 ptaków 29
 punktualizm 178
 roślin 143–153
 skrzydeł 175
 socjobiologia 182
 spory z teologami 184–185
 teoria 172
 trwanie 171
 Wszczęświata 920–931
 zwierząt 17

- Fale**
 absorpcja 402
 • cząstki 395, 656, 657
 czarna płama 396
 częstotliwość 393
 długość 393, 420-425
 dualizm falowo-korpuskularny 659, 660
 dyfrakcja 398
 dźwiękowe 401, 403
 elektromagnetyczne 417-418, 420
 funkcja falowa 644
 interferencja 394-396
 odbite 399
 pochłonięte 399
 podłużne 392
 poprzeczne 392
 prędkość 393
 promienie X 416
 przenoszenie energii 391
 radiowe 416
 ruch 392
 sejsmiczne 795, 796
 światło 367, 397
 załamane 399
 zjawisko Dopplera 401
 Faraday Michael 407
 Femtosekunda 481
 Fermentacja 306-311
 Fermion 628
Fizyka
 klasyczna 367-558
 współczesna 559-733
 Fosfor 10
 Fotografia kolorowa 415
 Foton 607
 Fotosfera 951
Fotosynteza
 energia 313
 faza ciemna 318
 faza świetlna 316
 jako źródło energii 314
 rola chlorofilu 315, 320
 w glonach 138
 w organizmach jednokomórkowych 97
 w sinicach 104
 zmniejszona zimą 151
 Fraktale 638, 639
 Franklin Benjamin 862
 piorunochron 862
 Fruktaza 245
Gady 28-30
 „Era gadów” 202
Galaktyki
 aktywne 910
 budowa 901, 902
 Droga Mleczna 189, 897, 899
 eliptyczne 906
 jądro 898, 901
 karłowate 906
 kondensacja 907
 kwazary 911, 912
 nieregularne 906
 obrót 907
 radiogalaktyki 910-912
 rozszerzanie się Wszechświata 914
 różne 906
 spiralne 906
 stateczne 910
 supergromady 935
 tworzenie 907
 Wielka Mgławica w Andromedzie 904
 Gamety 76
 Gazy 700
 Gąbki 16
 rozmnażanie się 72
 Gell-Mann Murray 624
 Generatory elektryczne 409
Genetyka
 klasyczna 108-119
 molekularna 275-286
Geny
 aktywność 279, 281
 allel 111
 dominujący 114, 285
 fenotyp 111
 genomy 288
 genotyp 111
 homeotyczny 280
 inżynieria genetyczna 290
 kod genetyczny 263-274
 kodowanie białek 275, 277
 manipulowanie 287-290
 mapowanie 287
 materiał genetyczny 283
 oznaczenie sekwencji 288
 recesywny 114, 115, 285
 regulacja aktywności 281-282
 stan spoczynku 279, 280
 wklejanie 289
 w rozmnażaniu bezpłciowym 72
 w rozmnażaniu płciowym 72, 74
 w starzeniu się 90
 Gleick James 639
 Chaos 639
Głony
 sinice 97, 104, 105
Glukoza 244, 729
 w fotosyntezie 319
 Golfsztrom 823
 Golgi Camillo 340
 aparat Golgiego 340-341
 Gondwana 773
 Gould Jay 178
Góry
 aktywność tektoniczna 779
 Andy 770
 Appalachy 779

- długość życia 778
 fałdowe 779
 Himalaje 770
 kopalne 781
 na Marsie 963
 podwodne 769
 powstawanie 769–770
 Sierra Nevada 780
 Skaliste 782
 Ural 770
 zapadliska 780
 zrębowe 780
Granit 813
Grawitacja
 a pływy 488–491
 a powstawanie galaktyk 907
 a szkielek 50
 siła 482
 teoria grawitacji Newtona 482–484
 wpływ na gwiazdy 874, 890
 wpływ na planety 496
Gruźlica 102
Grzegorz XIII, papież 472
Grzyby 328
Guth Alan 502
Gwiazdozbiory
 Panny 935
 Pegaza 939
 Perseusza 939
 Strzelca 901
 Wolarza 936
Gwiazdy 871
 Barnarda 981
 barwa 875
 białe karły 875
 ciąg główny 875
 czerwone olbrzymy 875, 882
 energia 872
 hel w gwiazdach 881
 jasność 875
 jasność absolutna 878
 neutronowe 886
 nowe 892
 paliwo 881
 powstawanie 879
 pulsary 887, 889
 skład chemiczny 647
 spadające 989
 supernowe 883, 885
 śmierć 880, 883–884
 temperatura 875
 wielkość gwiazdowa 878
 wodór w gwiazdach 881
 wpływ grawitacji 874
Hadrony 621, 624
Halley Edmund 989
Halobakteria 320
Harvey William 79
Hawking Stephen 501
 Krótką historią czasu 501
Heisenberg Werner 652
 zasada nieoznaczoności 652
Hemofilia 115
Hemoglobina 67
Heptan 720
Hertz Heinrich 418
Hertzsprung Ejnar 875
Hodowla
 przez dobór sztuczny 118
 test krzyżowania 110
Horner Jack 207
Hominidy (człowiekowate) 224
 Australopitek 224
 Człowiek z Cro-Magnon 224, 235
 Człowiek rozumny (*Homo sapiens*) 222, 224, 235
 Człowiek neandertalski (*Homo neanderthalensis*) 224, 233–237
 Człowiek pekiński (*Sinanthropus pekinensis*) 135
 Człowiek wyprostowany (*Homo erectus*) 224, 231
 Człowiek z Piltdown 221
 Człowiek zręczny (*Homo habilis*) 224, 230, 231, 238
 „Ewa” – pierwsza kobieta 239
 jako skamieniałość przewodnia 757
 „Lucy” – najstarszy człowiek 229
 Ramapitek 224, 225
Hooke Robert 302
Hormony płciowe 733
Hoyle Fred 917
Hubble Edwin 914
Huragany 851–853
Hydrosfera 820
Indukcja elektromagnetyczna 407–409
Instrumenty optyczne 381–390
Insulina 279, 290
Interferencja
 fale a cząstki 395
 wygaszanie 394
 wzmocnienie 394
Interferon 290
Izomery 244
Izooktan 719–720
Izotopy 584–585
Jajniki 76
Jajo
 rola w rozmnażaniu 79
 zapłodnienie 81
Jaszczurki 43
Jądra 76
Jądro 346–349
 emisja cząstek 586
 jąderko 348

- rozpad promieniotwórczy (α , β , γ) 586, 592, 596
 rozszczepienie 602
Jednostki taksonomiczne (jednakowe w zoologii i botanice)
 gatunek 127, 128, 133
 gromada 126
 królestwo 122
 rodzaj 127
 rodzina 126
 rząd 126
 typ 124
 Johannsen Wilhelm 112
 Johansson Donald 238
 Jonosfera 837
 Jony 562
 Jowisz 969
 komórki konwekcyjne 839
 księżycy 970, 972
 obroty 929, 971
 Joyce James 624
- Kalendarz 468–473
 egipski 469
 gregoriański 472
 juliański 471
 Kambry 198
 Kant Immanuel 905
 Katalizator 712
Klasyfikacja
 anatomiczna 130
 DNA w klasyfikacji 134
 filogenetyczna 132
 gatunki 133
 kladystyczna 132
 podział istot żywych 121–127, 129
Klimat 844, 863–870
 efekt cieplarniany 867–868
 El Niño 866
 wpływ Słońca 864
- Klony I**
 Kłacza I
 Kodon 267
 Kofeina 728
 Kohezja (spójność) 521
 Koloid 717
 Komety 986
Komórki 299, 322
 błony komórkowe 257, 323–328
 budowa 321–322
 energia 303–306, 309
 eukariotyczne 299, 309
 funkcja 299
 jądro 299
 krwi 67, 349
 lizosomy 342–343
 organelle 332–334
 płciowe 284, 365
 podział 354 366
- potencja 88
 powstanie 84
 prokariotyczne 299, 366
 przeznaczenie 88
 receptory 324
 rozmiary 301
 rozwój 87, 89
 szkielet cytoplazmatyczny 329–330
 ściany komórkowe 302, 328
 zróżnicowanie 85, 299
 Kompas 427, 430
 Kontynenty – ruch 775
Konwekcja
 komórki konwekcyjne 838, 840
 teorie konwekcji 858
 Kortyzon 259
 Kosmologia 494
Krater
 kaldery 784
 Manacougan 992
 meteorytowe 992
 na Księżycu 994
 Kreacjonizm 184
Krew
 ciśnienie 66
 filtrowanie 69, 70
 krążenie 64–65
 krwinki 68
 przepływ 64–65
 skład 67
- Kręgowce 23–24**
 ewolucja 23
 gady 28, 202
 płazy 27
 ptaki 29–30
 ryby 25, 26, 201
 ssaki 31, 203
 układ wydalniczy 70
- Krokodyl 28
Królestwo Monera 95, 98, 101
 aeroby 98
 anaeroby 98
Królestwo Protista 95, 106–107
 Kryształ 817
 Krzem 566
 Krzyżowanie 100, 128
Księżyc
 a pływy 489–490
 bazyalty wylewne 960
 krater 960
 powstanie 753
 przyciąganie grawitacyjne 475
 skały 761
 teoria oderwania 752, 753
 teoria pochwylenia 753
 teoria wielkiego zderzenia 753
 trzęsienia ziemi 960
- Kwarki 624
Finnegan's Wake 624

- Kwasy** 706
azotowy 870
mlekowy 306, 311
nukleinowe 242, 260–262
salicylowy 723
siarkowy 870
solny 35
Kwazary 911–912
- Lamarck Jean-Baptiste 183
Laplace Pierre-Simon 507
Lasery 606, 607
pompowanie 608
zastosowanie 609
Laurazja 773
Leakey, rodzina 238
Leeuwenhoek Antonie van 78
Leptony 621
Linneusz Karol 120, 132
Lipidy 257–259
Lizosomy 342–343
Lodowce 788–793
a poziomó mórz 793
cykl Milankovića 865
firm 788
szarża 789
Lorenz Edward 635
Lowell Percival 964
Lód 186
- Łupek 810
Łysenko Trofim 183
- Magma 813
Magnetyzm 427
bieguny 429–430, 432–433
energia potencjalna 531
ferromagnetyki 436
kobalt jako magnes 438
kompas 427, 430
magnesy 429
nikiel jako magnes 438
paleomagnetyzm 443
paramagnetyki 439
pole magnetyczne 434–436, 440–441
utrwalony w skałach 443
Ziemia jako magnes 440–441
żelazo jako magnes 438
Magnez 10
Marconi Guglielmo 419
Margulis Lynn 125
Marmur 814
Mars 961
generowanie ciepła 949
góry 963
misja Vikingów 962
pory roku 961
powierzchnia 961, 965
- Materia**
ciemna 903, 938
podstawowe składniki 626
przewodzenie prądu elektrycznego 559–566
stany skupienia 700, 701
we Wszechświecie 916, 935
własności fizyczne 516–528
ziarnista 942
Maxwell James Clerk 418
- Mechanika**
klasyczna 506
kwantowa 649–664
Meduza – układ nerwowy 56
Mejoza 365
Mendel Gregor 109, 110
Merkury 944, 958
Merysystemy 147
- Metabolizm**
a sacharyna 727
u ptaków 30
w stanie spoczynku 151
- Meteory** 988, 987
kratery 990, 992–993
- Meteoryty** 996
jako przyczyna wymierania dinozaurów 215
minerały 1000
na Antarktydzie 999
na Marsie lub na Księżycu 998
tunguski 991
- Metoda naukowa 515
Meyer Franz 234
Mezon 628
Mięczaki 16
rozmnażanie 76
szkielet 50
- Mięśnie**
gładkie 52
poprzecznie prążkowane 52
- Mikrofalowe promieniowanie tła 932
- Mikrosekunda 481
- Mikroskopy**
elektronowy 387
prosty 386
skaningowy 388
- Mikroukłady scalone 572
Milisekunda 481
Miller Stanley 187
doświadczenie Millera-Ureya 187
- Minerały** 815–816
budowa 816
meteoryty 1000
wpływ ciśnienia 818
wpływ temperatury 818
- Mitochondria 333
Mitoza 361, 364–365
- Moc** 536
koń mechaniczny 538, 540
wat 538

- Model standardowy 631
 Morena 791
 Morfina 722
 Morowitz Harold 241
 Morświny – oddychanie 62
 Mózg
 budowa 57
 człowieka 57
 kora mózgowa 57
 ssaków 31
 złożoność 44, 58

 Naczynia włosowate 64
 Nadprzewodniki jako elektromagnes 577
 Nanosekunda 480–481
 Napięcie
 elektryczne 456
 powierzchniowe 522
 Narządy zmysłów 39–49
 Nasiona
 rola w rozmnażaniu 141
 rozwój 8
 stan spoczynku 8, 9
 Nauka o Ziemi
 aktywność tektoniczna 772, 776
 atmosfera 746–748
 całkowita ilość wody 750
 datowanie 754–762
 dyferencjacja 735
 faza rozgrzewania 735
 jądro 738
 kontynenty 766
 obrót 440
 oceany 822–829
 planetozymale 734
 płaszcz 737
 płyty 764–772
 pole magnetyczne 440–441
 powstawanie 734–735
 skorupa 737, 764
 trzęsienia ziemi 794–797
 ukształtowanie geologiczne 778–782
 warstwy 737
 wiek 761
 Nefrony 70
 Nekton 105
 Neptun 944, 979
 księżyc 979
 odkrycie 980
 pierścienie 971, 981
 wiatry 979
 Neutrino 623
 Newton Isaac 503–506
 prawa Newtona 508–513
 Niczenie 16
 krążenie 63
 Nukleony
 neutrony 582
 rozpad 590

 protony 582
 w pierwiastkach chemicznych 686

 Obłok Magellana 885, 901
 Obłok Oorta 986
 Obsydian 813
 Oceany 822
 chemia 833–836
 krążenie wody 823
 oceanografia 822
 rowy oceaniczne 829, 831
 temperatura 824, 826
 Oczy
 człowieka 42
 nerw wzrokowy 42
 proste 40
 rozdzielanie kolorów 43
 złożone 40
 Oddychanie
 energia w oddychaniu 60
 rola ATP 303–304
 ryb 61
 układ oddechowy 60–61
 Oddziaływania podstawowe 629
 Odgazowanie 747
 Oersted Hans Christian 405
 Ogólny Model Cykulacji (GCM) 843
 Okres połowicznego zaniku 596
 w datowaniu radiometrycznym 758
 w izotopach promieniotwórczych 597
 Oktan 719
 Optyka
 klasyczna 367–390
 kwantowa 606–616
 Organizmy jednokomórkowe 95–107, 121–122
 Monera 96–98, 101–105, 121–122
 Protista 106–107, 121–122
 Osmoza 526
 Ostrygi – rozmnażanie 81, 84
 Owady 21–22
 oczy 40–41
 oddychanie 61
 szkielet 50
 Ozon 869

 Pamięć 57
 Pangea 773
 Panspermia 179
 panspermia kierowana 179
 Paprotniki – rozmnażanie 140
 Paradoks EPR 661
 Parowanie 555
 Pary Coopera 575
 Parzydelkowce 16
 Pasteur Ludwik 94
 Penzias Arno 932
 Pepsyna 35

- Perm 214
 Piaskowiec 810
 Pierścienice 16
 Pierścień ognia 783
 Pierwiastki
 chemiczne 685
 radioaktywne 688
 układ okresowy 691
Pięć królestw 125
 Pikosekunda 481
 Planck Max 652, 931
 Planetoidy 968
 Planety
 gazowe olbrzymy 944–945
 orbity 943
 pierścienie 946
 pole magnetyczne 978
 powstawanie 734
 ziemiopodobne 944
 życie na planetach 967
 Plankton 105
 Plazma 444, 701
 Plaże 801–804
 Pluton 947, 982
 księżyc 982
 odkrycie 984
 Plazińce 16, 69
 Plazy 27
 Pleć 284
 Płodozmian 12
 Pluca
 adaptacja, przystosowanie 61
 u ryb 26
 Płyty
 Anatolijska 794
 a skały osadowe 812
 Euroazjatycka 769, 794
 granice 768
 na powierzchni Ziemi 764
 Pacyfiku 794
 Północnoamerykańska 769
 promieniotwórczość 598
 tektonika 764
 Pływy
 kwadraturowe 490
 łądów 489
 oceaniczne 488
 szygijne 490
 Początki życia 92, 191
 samoródtwo 93–94
 Pogoda 844
 fronty 845
 prąd strumieniowy 841
 Polichlorek winylu (PCW) 721
 Poliester 708
 Polimer 709
 Polipeptyd 710
 Polisacharydy (wielocukry) 248
 Polon 587
 Populacja
 granice wzrostu 166–168
 wzrost wykładniczy 163–165
 Potas – rola w układzie nerwowym 55
 Powietrze
 mikroorganizmy w powietrzu 94
 przepływ 850
 Poziom morza 793, 832
 Pożywienie
 łańcuch pokarmowy 159, 161
 poziomy troficzne 159–161
 przetwarzanie 33
 Półprzewodniki 566–568
 domieszkowanie 569
 tranzystory 571
 typu „n” 569
 typu „p” 569
 Prawa
 Archimedesa 520
 biogenetyczne 86
 Coulomba 451
 fizyczne 667
 Galileusza 514
 Newtona 505
 powszechnego ciężenia 482
 przyczynowości 508
 termodynamiki 535
 Prąd
 elektryczny 405, 461
 izolatory 564
 nadprzewodniki 575–578
 ogniwo 464
 opór elektryczny 457
 półprzewodniki 566
 przewodzenie prądu elektrycznego 559–565
 stały 461
 strumieniowy 841
 uziemienie 463
 zawieszony 831
 zmienny 461, 462
 Produkcja alkoholu 306
 alkohol etylowy 726
 Produkty przemysłu naftowego 715
 Promieniotwórczość
 okres połowicznego zaniku 596–597
 promieniowanie kosmiczne 600
 przechowywanie odpadów 598
 rozpad 586, 591–592
 w płytach 598
 wytwarzanie ciepła 736
 Promieniowanie
 fale elektromagnetyczne 417–418, 420
 galaktyk 910
 Hawkinga 501
 jądrowe (α , β , γ) 588
 nadfioletowe 376, 422
 podczerwone 422
 poziom promieniowania naturalnego Ziemi 600

- Protoplazma 321
 Przewodnictwo 541, 542
 Przeżywanie najlepiej dostosowanych 182
 Przyspieszenie 510
 Psy
 węch 47
 wzrok 43
 Pszczoły – rozmnażanie 83
 Ptaki 29, 30
 ewolucja 175
 metabolizm 30
 układ wydalniczy 71
 związek z dinozaurami 208
 Pulsary 887–889
 pole magnetyczne 435
 Pumeks 813
 Pustynie 798
 ergi 800
 erozja 799
 saltacja 800
 Pylek 5

 Quantum 649

 Rachunek różniczkowy 504
 Rad 587
 Radarowe obserwacje orbit planet 496
 Radon 595
 Reakcje
 chemiczne 683
 egzotermiczne 683
 endotermiczne 683
 katalityczne CFC 869
 Redi Francesco 93
 Redukcja 714
 Rekiny – rozmnażanie 80
 Retikulum endoplazmatyczne 339
 Retrowirus 298
 RNA 260, 262
 mRNA 269–271
 rola w wytwarzaniu białek 269, 273
 rRNA 274
 tRNA 273
 w wirusach 291, 292
 „Robaki” 19
 Rośliny
 bulwy 1
 chromosomy 2
 dwuliścienne 142
 ewolucja 143–153
 jako źródło energii 136
 jednokomórkowe 95
 jednoliścienne 142
 kiełkowanie 8
 klącza 1
 mutacje 1
 naczyńowe 140
 nagozależkowe 141
 nasiona 4, 5, 8, 141
 okrytozależkowe 141, 142, 145
 pasożyty roślin 13
 przemiana pokoleń 2
 rozmnażanie bezpłciowe 1–2
 rozwój 8–13
 wielokomórkowe 139
 wytwarzanie energii 319
 zapłodnienie 5
 Rozmagnesowanie 437
 Rozmnażanie
 bepłciowe 1, 72, 73
 płciowe 1, 2, 72, 74–75
 podział komórek 1, 2
 przemiana pokoleń 2
 rola jaja 76
 roślin 1–2
 szczepienie roślin 3
 zapłodnienie 81
 Rozpuszczalnik uniwersalny 696
 Rozszczepienie jądra 601, 602
 Rozumowanie 57
 Równania
 Maxwella 412
 prawo powszechnego ciężenia 482
 przekształcenie masy w energię 591
 zależność masy od energii 679
 Ruch
 bezwiedny 52
 brak 509
 lodowców 788–789
 nauka o ruchu 506–510
 perihelium 496
 prawa 505
 przewidywanie dalszego ruchu 510, 511
 w czasie rozpadu promieniotwórczego 598
 wewnątrz atomu 649
 wody w oceanach 823
 zależny od woli 54
 Russell Henry 875
 Rutherford Ernest 580–582
 Rybosomy 274
 Ryboza 244
 Ryby
 jako pierwsze kręgowce 24
 kostnoszkieletowe 25
 oddychanie 26, 61
 rozmnażanie 81

 Sacharyna 727
 Satelity
 Galileuszowe 970
 Voyager, sonda kosmiczna 946, 981
 Saturn 944, 974–975
 Schiaparelli Giovanni 964
 Schwartz Karlene V. 125
 Serce
 budowa 63
 przepływ krwi 64–66

- Siła wyporu 519
 Skala Richtera (trzęsienia ziemi) 797
Skaly 805
 datowanie 754–756, 760, 762
 erozja 805
 księżycowe 761
 magmowe 808, 813
 metamorficzne 808, 814
 osadowe 808–812
 wylewne 785
Skamieniałości
 a ewolucja 193, 218
 dinozaurów 205
 glony 196
 Homo erectus 224, 231
 „Lucy” 229
 neandertalczyk 234
 oznaczanie względnego czasu 756
 Proconsul 224, 225
 skamieniałość przewodnia 756, 757
 w wapieniu 206
 Skażenia 162
 Skłodowska-Curie Maria 587
 Skorupiaki – układ wydalniczy 69
Skrobia 246
 trawienie 247
 Skrzela 61
 Skrzydła – ewolucja 175
Słońce
 a pływ 490
 bryzgi 951
 chromosfera 951
 fotosfera 951
 korona 952–953
 plamy 445–448
 pole magnetyczne 956
 protuberancje 951
 światło 380
 Układ Słoneczny 943
 warstwy zewnętrzne 951
 wiatr słoneczny 957
 zmienność 864
Sluch 39
 budowa i funkcjonowanie ucha 45
 umiejscowienie 46
 Socjobiologia 179
Soczewki
 oka 40–42
 oka człowieka 382
 ogniskowa 381
 wklęsłe 381
 w mikroskopach 386
 w teleskopach 389
 wypukłe 381
 Sód – rola w układzie nerwowym 55
 Sól – stężenie
 w moczu 70
 w wodzie 70, 833, 836
 Spektroskopia 647
Spencer Herbert 182
 socjologia ewolucjonistyczna 182
 Sprężystość 523
 Ssaki 31
Stan spoczynku
 genów 279, 280
 nasion 8, 9, 151
 Stanford Leland 182
 Starzenie się 90
Stawonogi
 oddychanie 61
 owady 16, 18
 Stężenie pośmiertne 732
 Stonogi 20
 Stop 716
Stratosfera 837
 reakcje katalityczne CFC 869
 Struna grzbietowa 124
 Strunowce 16
 Struś 29
 Subdukcja 770
 Syfilis 102
 Sylur 200
 Synapsy 55
Synteza termojądrowa 604
 „gorąca” 605
 „zimna” 605
 Szelfy kontynentalne 195, 830
 Szkarłupnie 16
Szkielet
 cytoplazmatyczny 329–331
 kręgowców 51
 mięczaków 50
 stawonogów 50
 wewnętrzny 50, 51
 zewnętrzny 50
Ściegna 53
 „łokieć tenisisty” 53
 Ścisłość 524
 Śnieg 820
Światło
 barwa 369, 371, 374–377
 białe 370, 380
 „czarne” 376
 czerwone 369
 emisja 372–374
 energia 643–645
 fale 396–397
 fioletowe 369
 fluorescencja 376, 701
 interferencja 397
 nadfioletowe 376, 422
 niebieskie 378–379
 odbite 374, 377, 611
 podczerwone 422
 prędkość 417
 rozproszone 378
 tęcza 384

- uginanie 495
 widzialne 376
 własności kwantowe 372
 załamane 383, 384, 400, 611
Światłowodowy
 odbicie światła 611
 załamanie światła 611
 zastosowanie 612–616
- Tachiony** 678
Tajfun 853
Tardiony 678
Tektonika płyt 764–766, 772
 granice płyt 768–771
Teleskopy
 Kecka 390
 reflektor astronomiczny 389
 refraktor 389
 wielozwierciadłowe 390
 zwierciadlane 385
Temperatura
 oceanu 824
 pracy nadprzewodników 575
 termometry 39
 w gwiazdach 875
 w jądrze Ziemi 738
 wpływ na minerały 818
 wrzenia 556
 Wszechświata 920–921
 zero bezwzględne 557, 558
Teobromina 728
Teoria niezmienników 666
Teoria wszystkiego 632
Teoria względności 665–681
 ogólna 665
 prędkość światła 671
 szczególna 668
Termodynamika 529–558
Termoklina 824
Testosteron 259, 733
Tlen
 w atmosferze 837
 we krwi 64, 67
 w oddychaniu 60–61
 w wodzie 62
Tombaugh Clyde 966
Topnienie 555
Tornado 854
Transformator 410
Troposfera 837
Trójnitrotoluen 724
Truskawka 7
Trzustka 35
Tyranozaur 205
- Układy**
 gwiazd podwójnych 877
 hormonalny 59
 krwionośny 63–66
- narządy zmysłów 39–49
 nerwowy 54–59
 aksony 55
 autonomiczny 54
 neurony 55
 obwodowy 54
 ośrodkowy 54
 somatyczny 54
 synapsy 55
 transmitter 55
 oddechowy 61
 okresowy pierwiastków 691–692
 pokarmowy 33–38
Słoneczny 943
 wydalniczy 69–70
Uran 976–977
Uran-238 – rozpad 593
Urey Harold 187
Uskok San Andreas 771
Utlenianie, spalanie 713
- Van der Waals Johannes D.** 698
Velikovskiy Immanuel 978
Volta Alessandro 456
- Wakuole** 345
Wapień 810
Wapń 10, 834
Watt James 540
Ważki 41
Wątroba
 rola w trawieniu 35, 334
Wegener Alfred 765
Wenus 944, 959
Węch 39, 47, 48
Węgiel
 krążenie 156
 w chemii organicznej 703
Węglowodany (sacharydy) 242, 244–248
 dwucukry 245
Węże 28
Wiatry 839–840
 cyklony tropikalne 853
El Niño 866
 „końskie szerokości” 840
 monsun 853
 na Neptunie 979
 pasaty 839
 pas ciszy 840
 słoneczny 957
Wiązadła 51
Wiązania
 chemiczne 693
 jonowe 694
 kowalencyjne 243
 metaliczne 697
 nasycone 711
 nienasycone 711
 peptydowe 249

- van der Waalsa 698
- w białkach 253
- wodorowe 696
- Widmo fal elektromagnetycznych 420
- Wielka Dolina Ryftowa 769
- Wielka teoria unifikacji (GUT) 632
 - inflacja 930
- Wielki Mur 939
- Wielki Wybuch 916
- Wilson Edward O. 179
- Wilson Robert 932
- Wirusy 291–294
 - choroby wirusowe 296
 - komputerowy 295
 - miejsce w systematyce 123
 - rozmnażanie 292
- Wiry 823
- Włoskowatość 528
- Woda 696, 820
 - słodka 821
 - słona 821, 833–836
- Wodór
 - uwodornienie 711
 - w chemii organicznej 702
 - wiązania 696
- Wrotki 16
- Wspólny przodek 239, 338
- Wszczęświat
 - ciemna materia 938
 - ewolucja 893, 920–931
 - koniec 941
 - niemowlęcy 501–502
 - płaski 941
 - początek 940
 - pustki 936, 937
 - rozszerzanie się 502, 914, 919
 - zamknięty 941
- Wulkany
 - a skały magmowe 784
 - kaldery 784
 - Krakatau 787
 - Mount Saint Helens 787
 - na planetach 958, 959, 963
 - powstawanie 783
 - w kształcie stożka 784
- Wydmny piaszczyste 800
- Wymieranie
 - dinozaurów 213
 - gatunków 211
 - masowa zagłada 213–216
 - przyczyny 211
- Wyrostek robaczkowy 174
- Wytrzymałość na rozciąganie 525
- Wzmacniacze 571

- Young Thomas 397

- Zakaz Pauliego 692
- Zapalenie płuc 296
- Zapłodnienie
 - roślin 1
 - wewnętrzne 82
 - zewnętrzne 81
- Zapylenie
 - krzyżowe 5
 - samozapalenie 5
- Zarodniki 2
- Zasady 707
- Zatoka Chesapeake 825
- Zegar
 - atomowy 675
 - maser wodorowy 478
 - światłny 673
 - zwalnianie chodu 675
- „Zielona rewolucja” 119
- Zjawisko fotoelektryczne 368
- Zweig Fred 624
- Zwierzęta
 - mięsożerne 159
 - roślinożerne 159
 - rozmnażanie 72–91
 - stałocieplne 30, 62
 - układy organów 32
 - wszystkożerne 160
 - zmiennocieplne 30
- Zygota 84–85, 87

- Żółwie 28

Spis treści

<i>Wstęp</i>	9
1. Biologia klasyczna	11
2. Ewolucja	67
3. Biologia molekularna	99
4. Fizyka klasyczna	147
5. Fizyka współczesna	211
6. Nauka o Ziemi	273
7. Astronomia	319
<i>Indeks</i>	370