

*James A. Coleman*

*Teoria*

*Względności*

*Dla*

*Laika*



*Albert Einstein*

*Przepisałam specjalnie na – Chomika – Iwa*

*Rozdział - 1*

*Prędkość światła*

*Pomiar prędkości głosu przez Morsenne`a*

*Teoria względności ma swój właściwy początek w badaniu bardzo szczególnego zachowania się fal świetlnych. Zacznijmy więc i my od historii badania jednej z najważniejszych właściwości fal świetlnych, a mianowicie ich prędkości. Najpierw jednak należy powiedzieć kilka słów o prędkości głosu, ponieważ zmierzono ją wcześniej. Już w starożytności ludzie zdawali sobie sprawę z tego, że gdy coś wydało dźwięk, dźwięk ten wędrował od dźwięczące przedmiotu do ucha słuchacza. Rozumowanie to opierał się częściowo na zaobserwowanym fakcie, że im dalej znajdował się człowiek od miejsca, w które uderzył piorun, tym później słyszał on dźwięk grzmotu. Prędkość, z jaką rozchodzą się fale głosowe, nie została jednak przed czasami nowożytnymi zmierzona.*

*Jednego z największych pomiarów prędkości głosu dokonał Francuz Marin Mersenne (1588-1648). Znajdował się on w odległości kilku kilometrów od armaty, z której strzelał jego*

*pomocnik. Ze swego punktu obserwacyjnego Mersenne mierzył czas, licząc ilość wahnięć wahadła od chwili ujrzenia ognia do chwili do chwili usłyszenia wystrzału (do mierzenia czasu używał wahadła, nie znano bowiem wówczas jeszcze stoperów). Wiedząc, jak długo trwa jedno wahnięcie, obliczył on czas potrzebny na to, by dźwięk mógł dotrzeć od działa do niego; następnie podzielił przez ten czas odległość między sobą a działem (którą oczywiście przedtem zmierzył); w ten sposób otrzymał on prędkość głosu - około 1120 kilometrów na godzinę. Obecnie dokładniejsze metody dają wynik około 1200 kilometrów na godzinę. W czasach Mersenne'a uważano to za ogromną prędkość; wystarczy uświadomić sobie, że dobry koń wyścigowy może biec z prędkością około 64 kilometrów na godzinę. W dzisiejszych czasach samoloty latają znacznie szybciej, a niektóre nawet z prędkością większą od prędkości głosu nie mówiąc już o zdalnie kierowanych pociskach, które mają prędkość kilkakrotnie większą od prędkości głosu.*

*Galileusz usiłuje zmierzyć prędkość światła*

*Zastanówmy się co się dzieje, gdy wejdziemy do ciemnego pokoju i przekręcimy kontakt. Wyda nam się, że światło z żarówki wpada natychmiast do naszych oczu. Jeśli jednak bliżej badamy zachodzące zjawisko, musimy zgodzić się z faktem, że źródłem światła jest sama żarówka, czyli że światło wypełniające pokój musi pochodzić z żarówki. Zmusza nas to do wyprowadzenia wniosku, że światło przechodzi od żarówki do naszych oczu, by dopiero wówczas dać nam odczucie światła. Zmysły nasze jednak zdają się twierdzić, że widzimy światło dokładnie w tym samym momencie, w którym przekręcamy kontakt. Obecnie wiemy, że prędkość światła jest tak wielka, iż wydawać się może, że rozchodzi się ono momentalnie.*

*Na początku wieków nowożytnych szalała z całą gwałtownością walka o to, czy prędkość światła jest skończona, czy nieskończona, między tak wybitnym uczonym jak Kartezjusz (1506 – 1650), który twierdził, iż jest ona nieskończona, a drugim wielkim uczonym owych czasów, Galileuszem (1564 – 1832), który uważał, iż jest skończona.*

*Aby dowieść słuszności swego twierdzenia Galileusz próbował zmierzyć prędkość światła. Pewnej ciemnej nocy ustawił on swego współpracownika na szczycie wzgórza w odległości 5*

*kilometrów od siebie i zaopatrzył go w zapaloną i osłoniętą latarnię. Drugą identyczną latarnię trzymał sam Galileusz. Gdy obaj byli gotowi, Galileusz uniósł osłonę, pozwalając w ten sposób promieniom świetlnym ze swej latarni biec z prędkością światła do jego pomocnika. Ten, zobaczywszy światło, podnosił swoją osłonę i promienie świetlne z jego latarni wędrowały do Galileusza z tą samą prędkością. Galileusz mierzył całkowity czas od chwili, gdy po raz pierwszy uniósł osłonę, do chwili, kiedy zobaczył światło z latarni swego pomocnika, a znając możliwie dokładnie odległość między tymi dwoma miejscami wyliczył prędkość światła.*

*Galileusz powtarzał swoje doświadczenie wielokrotnie i za każdym razem otrzymywał inną wartość prędkości, wynik doświadczeń nie był więc przekonujący. Obecnie wiemy, dlaczego eksperyment ten się nie udał: czas potrzebny bowiem Galileuszowi i jego pomocnikowi do zauważenia latarni partnera, a następnie podniesienia osłony, czyli czas reakcji ich obu, był tak długi w porównaniu z czasem, w jakim światło przebiegło daną odległość, że jeśli przyjmiemy nawet, że wynosił zaledwie jedną sekundę, to promienie świetlne z ich latarni mogły w tym czasie obieć czternaście razy dookoła Ziemi. Widzimy więc, że chociaż metoda użyta przez Galileusza mogła w jego czasach wydawać się prawidłowa, była ona tak samo bezskuteczna, jak próby złapania muchy przez ślimaka.*

#### *Astronomiczna metoda Roemera*

*Trzeba więc było albo mierzyć czas przejścia przez wiązkę świetlną dużej odległości - większej niż obwód Ziemi, albo też, przy użyciu mniejszych odległości, mieć idealnie dokładny zegar. Całkiem przypadkowo, w niewiele lat po bezowocnej próbie Galileusza, wynaleziono metodę astronomiczną i, o ironio, właśnie jedno z wczesnych odkryć Galileusza w astronomii umożliwiło zastosowanie tej metody.*

*Galileusz zbudował teleskop, jeden z pierwszych na świecie, i za jego pomocą w roku 1610 odkrył cztery pierwsze księżyce Jowisza (Jowisz ma dwanaście znanych księżyców). Każdy z nich, podobnie jak nasz własny Księżyc, porusza się po orbicie wokół planety obiegając ją w stałym charakterystycznym dla siebie czasie, zwanym okresem.*

*W roku 1675 duński astronom Olaf Roemer (1644 – 1710)*

zmierzył okresy księżyców Jowisza. Gdy jednak w kilka miesięcy później zmierzył je ponownie, otrzymał inne wyniki. Roemer mógł wyprowadzić stąd tylko jeden logiczny wniosek: - dodatkowy czas jest potrzebny na to, by światło od księżycy Jowisza mogło przebyć dodatkową drogę wzdłuż średnicy ziemskiej orbity. W owych czasach uważano, że średnica ta wynosi około 277 000 000 kilometrów, podczas w rzeczywistości wynosi ona około 300 000 000 kilometrów; stąd dane Roemera dały w wyniku zbyt niską wartość prędkości. Metoda Roemera jednak znana jest w historii jako pierwsze, uwieńczone powodzeniem, wyznaczenie prędkości światła.

#### *Metoda teleskopowa Bradleya*

Anglik James Bradley (1693 – 1762) dokonał w roku 1728 następnego z kolei pomiaru prędkości światła, posługując się inną metodą astronomiczną. Zanim przedstawimy tę metodę, rozważmy najpierw proste zjawisko, świetnie znane większości z nas. Przypuśćmy, że znajdujemy się w pociągu, który ma za chwilę ruszyć. Na dworze pada deszcz. Widzimy, że deszcz spływa po szybie mniej więcej pionowymi strugami, od góry ku dołowi; i tak być powinno. Nagle pociąg rusza. Zauważamy teraz, że strugi deszczu na szybie nie są już pionowe, lecz tworzą pewien kąt. Zaczynają się one u góry i biegną w dół ku tyłowi szyby. Im szybciej biegnie pociąg, tym bardziej ukośne stają się strugi. Nachylenie strug jest więc związane z prędkością pociągu. Nietrudno wyjaśnić zachodzące tu zjawisko. Powróćmy do chwili, gdy pociąg jeszcze stoi i strugi deszczu spływają pionowo. Wykonując odpowiednie pomiary moglibyśmy przekonać się, że wszystkie krople deszczu biegną w dół szyby z tą samą w przybliżeniu prędkością. W rezultacie więc każda kropla, by dotrzeć do dołu okna, potrzebuje tyle samo czasu. Gdy pociąg rusza, krople nadal padają pionowo z tą samą prędkością, ponieważ ruch pociągu ku przodowi nie wpływa na prędkość ich spadania ku ziemi. Jednakże w tym czasie, w którym krople przejdą drogę od góry szyby ku dołowi, pociąg przesunie się do przodu. Stąd wyda się nam, że krople biegną w tył w stosunku do nas, znajdujących się w poruszającym się pociągu. Jasne jest już chyba, dlaczego strugi są tym bardziej ukośne, im szybciej biegnie pociąg. W tym samym stałym odcinku czasu, w jakim spada kropla, pociąg przebiega większą odległość i krople

na skutek tego przepływają na wagonowym oknie bardziej ku tyłowi.

Pewnie przyszło Ci już na myśl, Czytelniku, że można by w jakiś sposób zmierzyć prędkość, z jaką krople padają na ziemię, jeśli znamy prędkość pociągu i za pomocą linijki zmierzymy długość boków trójkąta prostokątnego, takiego jak trójkąt ABC. Łatwo można wykazać, posługując się elementarną geometrią, że prędkość padania kropli jest iloczynem prędkości pociągu przez stosunek długości boku BC do AC. Analogiczną metodą posłużył się Bradley przy wyznaczaniu prędkości światła.

Przypuśćmy, że mamy teleskop i chcemy popatrzeć na odległą gwiazdę. Światło „padające” z gwiazdy na ziemię jest tu odpowiednikiem padających kropli, ruch Ziemi po orbicie odpowiada ruchowi pociągu, a teleskop przez który przechodzi światło gwiazdy, zastępuje szybę okienną (Słońce celowo pomijamy). Jeśli chcemy zobaczyć gwiazdę przez teleskop, musimy ustawić go tak, aby światło gwiazdy wpadało w górny otwór teleskopu, a następnie dochodziło do naszego oka znajdującego się przy jego dolnym końcu.

Gdyby Ziemia była nieruchoma w przestrzeni i nie krążyła po orbicie, ustawilibyśmy teleskop wprost na gwiazdę i przychodzące od niej promienie świetlne „padałyby” wprost ku dołowi przez sam środek teleskopu. Odpowiada to przypadkowi z poprzedniego przykładu, gdy pociąg stoi na stacji. Wiemy jednak, że Ziemia krąży po swej orbicie wokół Słońca z prędkością około 30 km na sekundę. Rzeczywista sytuacja jest zatem podobna do powyżej opisanej; i teleskop musi być nachylony w ten sposób, by światło gwiazdy wchodzące doń w punkcie B przechodzi w dół przez środek tuby teleskopu i wpadało do naszego oka w punkcie A, analogicznie do tego, jak nachylone były strugi deszczu na szybie okiennej. W tym czasie, w którym fale świetlne przechodzą z B do C obserwator (wraz z teleskopem) przejdzie z A do C, gdyż znajduje się na poruszającej się Ziemi.

Na tym jednakże kończy się podobieństwo z padającymi kropkami deszczu. Nie możemy obliczyć prędkości przychodzących fal świetlnych w ten sposób, jak obliczaliśmy prędkość kropli. O kroplach wiedzieliśmy, że padają pionowo z góry; o gwieździe natomiast nie wiemy, czy znajduje się ona akurat nad naszymi głowami. Teleskop jest skierowany wprost na nią, więc wydaje się, że gwiazda znajduje się w kierunku przezeń wyznaczonym, tj.

na przedłużeniu linii AB. Tak przedstawiała się sprawa aż do czasów Bradleya. Nikomu nie przychodziło do głowy, że gwiazda może znajdować się w innym położeniu, niż wskazanym przez teleskop.

Uwagę Bradleya zwrócił jednak fakt, że tę samą gwiazdę w sześć miesięcy później zaobserwował na niebie w całkiem innym położeniu. Zjawisko to nazwał on aberracją i wyjaśnił tak, jak myśmy to uczynili, potwierdzając tym samy fakt, że prędkość światła musi być skończona. Obserwując gwiazdę Gamma Draconis stwierdził, że zmiana jej położenia w okresie sześciu miesięcy wynosi około czterdziestu sekund, czyli około jednej dziesięciotysięcznej kąta prostego: kąt nachylenia teleskopu w stosunku do pionu wynosił więc około dwudziestu sekund. Znając zatem już kąt nachylenia zbudował on trójkąt prostokątny ABC i obliczył prędkość światła w ten sam sposób w jaki obliczaliśmy prędkość kropel deszczu. Tutaj analogicznie prędkość światła równa jest prędkości Ziemi w jej ruchu po orbicie pomnożonej przez stosunek boków BC i AC.

Wynik Bradleya nie był zbyt dokładny, ale metoda jego jest ważna, gdyż ogromnie wzmocniła ona szybko rosnącą wiarę w fakt, że prędkość światła, aczkolwiek wielka, bo wynosząca 200 000 kilometrów na sekundę, jest jednak skończona.

Doświadczenie Bradleya było ważne również dlatego, że – jak później zobaczymy – było jednym z tych doświadczeń, które prowadziły wprost do teorii względności.

### *Ziemska metoda Fizeau*

W roku 1849 Armand Hippolyte Fizeau (1819 – 1896) jako pierwszy wyznaczył prędkość światła nie korzystając z metod astronomicznych. Uzupełnił on to, czego brakowało w metodzie Galileusza; znalazł mianowicie sposób dokładnego mierzenia krótkiego odcinka czasu, jakiego potrzebowała wiązka świetlna na przejście stosunkowo małej odległości na Ziemi. A zatem przykładowo mamy: obracające się koło zębate, lustro i zapaloną świecę, której płomień jest źródłem światła biegnącego do lustra oddalonego od niej o 8km. – tam i z powrotem. I teraz. Załóżmy najpierw, że koło jest nieruchome. Światło świecy przejdzie wówczas między zębami 1 i 2, przebiegnie 16-sto kilometrową drogę od koła do zwierciadła i z powrotem, przejdzie przez tę samą szparę między zębami i wpadnie do oka

obserwatora stojącego za świecą. Załóżmy jednak teraz, że koło obraca się. Wówczas światło świecy będzie przerywane przez zęby, które przechodzą przed świecą, w taki sam sposób, w jaki wędlina jest krajana przez maszynę. W rezultacie otrzymujemy całą serię pojedynczych wiązek świetlnych wysyłanych w stronę lustra, których długość zależeć będzie od szybkości obrotu koła; im szybciej koło się kręci, tym krótsze są wiązki. Rozważmy teraz, co się stanie, gdy wiązka po przejściu 16-kilometrowej drogi do zwierciadła i z powrotem, powróci do koła. Jeśli koło obraca się powoli, trafi ona na moment, gdy ząb 2 jest na wprost świecy. A zatem nie przejdzie przez odstęp między zębami by trafić do oka obserwatora. Obserwator więc nie ujrzy jej. Jeśli jednak koło obraca się dość szybko, w chwili, gdy wiązka świetlna powróci, ząb 2 zejdzie już z jej drogi i wiązka przeszedłszy między zębami 2 i 3, zostanie zauważona przez obserwatora.

Tak właśnie zrobił Fizeau. Puścił on w ruch swe koło i zwiększał jego szybkość dopóty, dopóki nie ujrzał odbitego od zwierciadła światła przechodzącego między zębami. Wiedział on wówczas, że wiązka świetlna przeszła 16 km w czasie potrzebnym na zastąpienie jednego odstępu między dwoma zębami koła przez następny. Wyliczył on ten krótki czas znając liczbę zębów na kole i mierząc prędkość jego obrotu. Następnie podzielił przez ten czas całkowitą drogę przebytą przez światło i otrzymał prędkość światła równą 313 000 km/s – wynik o około 5% za duży, ale dosyć poprawny, jeśli uwzględnimy prymitywność jego przyrządów.

### *Dokładny pomiar Michelsona*

Najbardziej znanym pomiarem prędkości światła jest pomiar dokonany w roku 1926 przez Alberta Abrahama Michelsona (1853 – 1931). Doświadczenie to zyskało rozgłos nie tylko ze względu na swój dokładny wynik, lecz również jako kamień milowy w technice eksperymentalnej. Niektóre z napotkanych trudności wydawały się prawie nie do pokonania. Michelson stanął jednak na wysokości zadania. Był on pierwszym Amerykaninem, który dostał nagrodę Nobla z fizyki (1907). Michelson udoskonalił metodę obracającego się zwierciadła, zastosowaną w r.1650 przez Jean Bernarda Foucaulta (1819 – 1868). Metoda ta jest nieco podobna do metody zębatego koła Fizeau, tutaj jednak do dzielenia pierwotnej wiązki światła na poszczególne wiązki, które jak i u Fizeau, są wysyłane do oddalonego zwierciadła (w tym



wypadku o 35 km) i znów powrotem, używa się obracającego się wielościanu zbudowanego z luster. Wielościan lustrzany, który za pomocą silnika elektrycznego może obracać się z dowolną wymaganą prędkością.

Rozważmy najpierw, co się dzieje, gdy zwierciadło ustawione jest w położeniu  $a$  i nie obraca się. Światło opuściwszy źródło światła (tu już w postaci żarówki) natrafia na ściankę 1 i odbija się od niej w kierunku oddalonego zwierciadła. Po odbiciu się od niego światło wróci z powrotem natrafiając znów na ściankę 1 i wówczas zostanie zauważone przez obserwatora znajdującego się koło lampy, ku której ono powraca.

Przypuśćmy teraz jednak, że, tak jak naprawdę jest w doświadczeniu, zwierciadło obraca się w chwili, gdy wiązka odbija się od ścianki 1 na swej drodze ku oddalonemu zwierciadłu. Jeśli prędkość obrotu nie jest wystarczająco duża na to, by w chwili, gdy wiązka wraca, ścianka 2 znalazła się w pierwotnym położeniu ścianki 1, to wówczas światło nie zostanie odbite ku obserwatorowi, ale w jakimś innym kierunku. Gdy jednak prędkość obrotu jest akurat taka, że ścianka 2 w chwili, gdy odbita wiązka światła wraca, jest w takim samym położeniu, w jakim była uprzednio ścianka 1, to światło wpadnie do oka obserwatora. W tym przypadku w ciągu czasu, w którym wiązka przeszła drogę do oddalonego zwierciadła i z powrotem, obracające się zwierciadło obróciło się o jedną szóstą kąta pełnego. Ponieważ prędkość obrotu zwierciadła jest znana, więc znany jest również czas jego obrotu. Jedna szóstą tego czasu – to czas potrzebny wiązce na przejście jej drogi. Dzieląc tę drogę przez tak wyliczony czas otrzymamy prędkość światła.

Michelson w swym doświadczeniu używał różnych obracających się zwierciadeł: o 8, 12 i 16 bokach. To obracające się zwierciadło było umieszczone na Mount Wilson w Kalifornii. Druga część aparatury, składająca się z układu zwierciadeł, zawierająca nieruchome zwierciadelko, znajdowała się w odległości około 35 km na Mount San Antonio. Ponieważ dokładność wyniku zależała w znacznym stopniu od dokładnego zmierzenia odległości, więc Amerykańska Służba Geodezyjna zmierzyła ją specjalnie dla doświadczeń Michelsona z dokładnością do 5 cm. Już sama dokładność tego pomiaru przekraczała niemal ludzkie możliwości. Dzięki niezwyklej staranności, jaką Michelson wykazał we wszystkich fazach doświadczenia, uważa się, że rezultat pomiaru

*jest dokładny, a ewentualny błąd nie przekracza 1%. W wyniku tego i następnych doświadczeń Michelsona wiemy teraz, że prędkość światła wynosi w przybliżeniu 300 000 km/s i tą wartością posługiwać się będziemy w naszej książce.*

### *Inne właściwości fal świetlnych*

*300 000 km/s wydaje się prędkością zbyt wielką, aby można ją sobie wyobrazić; możemy ją jednak uzmysławić sobie za pomocą znanych nam pojęć. Np. światło obiega dookoła Ziemię w 1j siódmej s-dy; żeby przebyć 150 mln km od Słońca do Ziemi światło potrzebuje około 8 mn. A zatem, gdy rano obserwujemy wschód Słońca, to w rzeczywistości weszło ono już 8 mn. wcześniej i dlatego nikt na Ziemi nie może oglądać Słońca w chwili, gdy ono rzeczywiście wschodzi.*

*Ponieważ światło dochodzi ze Słońca na Ziemię po 8 mn., można powiedzieć, że Słońce znajduje się w odległości 8 mn. świetlnych, podobnie jak mówimy, że miasto A leży w odległości 40 mn kolejną od miasta B. Astronomowie używają takich określeń do oznaczania olbrzymich odległości od Ziemi do gwiazd, gdyż odległości te wyrażone w km dają zbyt wielkie liczby, aby można je łatwo zarejestrować – jak np. gwiazd oddalonych od nasze Układu Słonecznego. I tak np. najbliższa nam „sąsiadka” gwiazdna leży w odległości 4 lat świetlnych – to znaczy, że trzeba na jej imieniny lecieć 4 lata z prędkością 300 000 km/s. A 1 rok świetlny wynosi 9 500 000 000 000 km. Więc nasza solenizantka jest oddalona od nas o około o „jedyne” 38 000 000 000 000 km. „autostrady” - „Autostrady Do Nieba”. Nie zły kawałek drogi! Prawda?*

*Ale prędkość światła nie jest wszędzie jednakowa. Są to różnice bardzo, bardzo maleńkie, ale jednak...*

*I tak np.; prędkość światła w próżni jest najszybsza; w powietrzu światło – znikomo - zwalnia. Natomiast w materiałach gęstszych np.; w wodzie wynosi  $\frac{3}{4}$ , a w szkłe  $\frac{2}{3}$  prędkości próżniowej.*

*Podsumowując dodajmy jeszcze, iż wszystkie odmiany promieniowania jak np.: fale radiowe, X, gamma itd.. należą do fal elektromagnetycznych i mkną z prędkością światła. Ale w tej króluje fala świetlna - widzialna .*

## *Rozdział - 2*

### *Wielki problem*

#### *Hipoteza stacjonarnego eteru*

*Po odkryciu, iż światło rozchodzi się z szybkością 300 000 km. /s poczęto rozmyślać nad tym jaki ośrodek przenosi lub rozprowadza je To główkowanie trwało do 1800go r. kiedy to ugruntowała się pewność, że jest ona taka, a nie inna – czyli skończona; i było to już niepodważalną pewnością, do r.1905, w którym Einstein ogłosił swoją szczególną teorię względności .*

*Wiadomo było już, że fale dźwiękowe rozchodzą się wprowadzając w drganie powietrze (lub inny ośrodek, przez który przechodzą) To drganie, czyli fala w ten sposób posuwa się naprzód. Odkryto następnie, iż fale dźwiękowe nie mogą rozchodzić się w próżni, że wymagają one jakiegoś nośnika materialnego – w tym przypadku - np.: powietrza; a fale wodne potrzebują wody. Na tej podstawie ukuto wniosek ,że fale świetlne muszą mieć jakiś nośnik aby móc się w czymś rozchodzić. Lecz równocześnie wiedziano już, iż międzygwiazdna przestrzeń nie dysponuje niczym takim Ale wtedy nie wierzono jeszcze w całkowicie „czystą” próżnię i... i dlatego narodziło się pojęcie – światłonośny eter, który nie tylko miał być nośnikiem światła, lecz co było z tym pojęciem całkiem logiczne - wypełniać cały Wszechświat. Niektórzy z uczonych poszli nawet jeszcze dalej i teoretycznie określili jego gęstość.*

*Dalsze potwierdzenie hipotezy eteru*

*Dodatkowe potwierdzenie istnienia eteru przyszło całkiem nieoczekiwanie z dziedziny zjawisk elektrycznych i magnetycznych (dokładniej z teorii elektromagnetycznej). W roku 1864 James Clerk Maxwell (1831 – 1879) opublikował wyniki swych teoretycznych dociekań nad drganiami elektrycznymi. Wykazał on, że pewne drgania elektryczne powodują powstawanie fal elektrycznych, które następnie rozchodzą się w przestrzeni. Co więcej, wyliczył on prędkość rozchodzenia się tych fal i otrzymał w wyniku 300 000 km/s – tę samą wartość, jaką już wcześniej uczeni otrzymali dla prędkości światła. Stąd Maxwell całkiem słusznie wywnioskował, że fale świetlne nie są niczym innym, jak szczególnym rodzajem fal elektrycznych, albo, jak nazywamy je dzisiaj, elektromagnetycznych. W roku zaś 1887 przewidywania Maxwella dotyczące istnienia fal elektromagnetycznych zostały potwierdzone przez Heinricha Hertza (1857 – 1894), któremu udało się otrzymać je doświadczalnie.*

*Argumenty przemawiające za istnieniem eteru zostały wzmocnione przez odkrycie Maxwella, które między innymi*

stwierdzało, że fale świetne są rodzajem fal elektromagnetycznych. Wierzono bowiem wówczas, iż pola elektryczne i magnetyczne mogą istnieć tylko w jakiejś substancji; nie do pomyslenia wydawała się możliwość ich istnienia w próżni. Fale elektromagnetyczne więc muszą z pewnością mieć jakiś ośrodek, który by je unosił; jedynym zaś możliwym do przyjęcia ośrodkiem był eter. Gdy już sama myśl o istnieniu eteru została mocno ugruntowana, uczeni skierowali swe wysiłki na jego wykrycie i tu właśnie, jak zobaczymy, nastąpił kryzys.

Jeśli eter istnieje i wypełnia całą przestrzeń, to nasuwa się logiczny wniosek, że jest on jedyną rzeczą, która pozostaje ustalona we Wszechświecie i nie porusza się. Wiedziano, że Ziemia i inne planety poruszają się względem Słońca; w szczególności, jak wiadomo, Ziemia krąży wokół Słońca z prędkością około 30km/s. Nie wiadomo natomiast, do jakiego stopnia Słońce jest stacjonarne względem innych gwiazd, uważano jednak, że jedynie tylko eter pozostaje nieruchomy, tworząc jakby tło dla ruchu ciał niebieskich, mniej więcej w ten sam sposób, w jaki woda w akwarium pozostaje nieruchoma, gdy pływają w niej złote rybki.

Uczeni więc zapytywali: jeśli wszystkie ciała niebieskie poruszają się względem siebie, to w jaki sposób można stwierdzić, czy poruszają się one w eterze, który sam pozostaje przecież nieruchomy, Jeśli znajdujemy się na okręcie na morzu i chcemy wiedzieć, czy porusza się on, czy też nie, to sprawdzamy, czy woda woda porusza się koło okrętu. Łatwo jest to zbadać: albo widzimy falę z przodu okrętu, albo też włożywszy rękę do wody czujemy, czy przepływa ona wokół naszych palców i stąd wnioskujemy, czy nasz okręt płynie. W ten właśnie sposób uczeni chcieli wykryć eter – usiłując stwierdzić istnienie pędu eteru lub, jak to również zwano, wiatru eteru. Gdyby znaleziono prąd eteru, byłby to dowód nie tylko na to, że w eterze Ziemia porusza się, ale przede wszystkim, że eter w ogóle istnieje, tak jak wierzono. Niestety jednak nie można wykryć prądu eteru po prostu przez wystawienie ręki w przestrzeń i namacania go.

*Oczekiwany efekt istnienia eteru*

Jeśli prąd eteru istnieje, powinno wystąpić kilka zjawisk, których też zaczęto gorliwie poszukiwać. Powtarzając rozumowanie, jakim posługiwano się wówczas, przedyskutujemy jeden z takich efektów. Załóżmy, że mamy umieszczony na Ziemi teleskop.

*Nastawiamy go na gwiazdę, w kierunku której akurat Ziemia porusza się po swej orbicie. Światło z gwiazdy rozchodzi się poprzez nieruchomy eter między nią a ziemią z prędkością 200 000 km/s. Dwie wiązki świetlne z gwiazdy weszły właśnie do teleskopu. Zostają one załamane przez soczewki teleskopu i zogniskowane w punkcie P, znajdującym się wewnątrz teleskopu. Ponieważ jednak teleskop wraz z obserwatorem porusza się w prawo z prędkością 20km/s, oko obserwatora znajdzie się w punkcie P w tej samej chwili, co wiązki świetlne i obserwator zobaczy w ognisku gwiazdę.*

*Przypuśćmy jednak, że astronom nie zmieniając nic w teleskopie, obserwuje tę samą gwiazdę w 6 miesięcy później. Sytuacja jest teraz całkiem inna, gdyż Ziemia znajduje się z drugiej strony swej orbity. Gdy przedtem poruszała się ona ku gwieździe, czyli na prawo w stosunku do eteru, z prędkością 30km/s, obecnie z tą samą prędkością ucieka od gwiazdy, czyli porusza się w lewo w stosunku do eteru. Ponieważ obserwator wraz z teleskopem ucieka teraz od przychodzących fal świetlnych, więc oko obserwatora nie będzie już w punkcie P w chwili, gdy dotrą do tego punktu wiązki świetlne i obserwator zobaczy teraz gwiazdę poza ogniskiem. Jeśli to całe rozumowanie jest słuszne, to – niezależnie od tego, jak dokładnie teleskop byłby nastawiony na obserwację gwiazdy – po upływie 6-u miesięcy musiałby być nastawiony ponownie. Zjawiska tego jednak nigdy nie zaobserwowano, mimo że poszukiwano go usilnie.*

#### *Fresnelowskie porywanie eteru*

*W roku 1818 Augustin Jean Fresnel (1788 – 1827) wysunął teorię, która, tłumaczyła dlaczego nie można było wykryć eteru.*

*Twierdził on, że eter w ciałach materialnych jest gęstszy niż w próżni lub przestrzeni kosmicznej, w wyniku czego poruszający w nim przezroczysty przedmiot, taki jak soczewka teleskopu porywa porywa za sobą część eteru, podobnie jak płynący okręt porywa za sobą wodę. Przy tym założeniu Fresnel wyliczył ilość porywanego eteru jako pewien czynnik zależny od prędkości poruszającego się przedmiotu, w tym przypadku soczewki teleskopu. Czynnik ten jest znany pod nazwą – Fresnelowskiego czynnika porywania.*

*W rezultacie, niezależnie od tego, czy teleskop porusza się w kierunku przychodzących fal świetlnych, czy też od nich ucieka, eter byłby porywany wraz z nim; wykrycie więc szukanego efektu*

*jest oczywiście niemożliwe, gdyż aby to zrobić musielibyśmy mieć nieruchomy eter podczas ruchu w nim teleskopu. Przypomina to przypadek, gdy biegnącemu psu przywiążemy kij z przymocowaną na jego drugim końcu rybą w ten sposób, że ma on ją stale przed sobą; pies nigdy nie schwyci tej ryby, porusza się ona bowiem wraz z nim.*

*Ponieważ Fresnelowski współczynnik był obliczony jedynie teoretycznie i nie miał żadnego doświadczonego potwierdzenia (poza pośrednim dowodem niemożności wykrycia efektu z teleskopem), należało wykonać doświadczenie, w którym zmierzono by prędkość światła w dość gęstym, poruszającym się ośrodku. Doświadczenie takie wykonał Fizeau w roku 1859. Zmierzył on prędkość wiązki świetlnej biegnącej w płynącej wodzie, najpierw w kierunku przepływu wody, następnie drugi raz – w kierunku przeciwnym. Przekonał się on, że to, iż woda się poruszała miało wpływ na prędkość rozchodzenia się światła. Z jego doświadczenia wynikało, że woda porywa ze sobą część eteru – taką właśnie część, jaką przewidywał Fresnelowski współczynnik porywania.*

*Nie powinieneś wszakże Czytelniku uważać, że w ten sposób udowodniono, iż eter rzeczywiście istnieje i jest porywany wraz z poruszającym się przedmiotem, unikając przez to bezpośredniego wykrycia. Fresnelowska teoria porywania była możliwym do przyjęcia wytłumaczeniem o ile, i tylko o ile, eter w ogóle istnieje i zachowuje się właśnie tak, jak opisaliśmy.*

#### *Doświadczenie Michelsona - Morleya*

*Nawet wówczas, gdy przekonano się, że eteru nie można wykryć ani przez zmianę ogniskowania teleskopu po upływie 6-u miesięcy, ani w innych podobnych doświadczeniach, nie zwątpiono w samo istnienie eteru. Mówiono, że potrzeba po prostu jakiegoś doskonalszego doświadczenia – doświadczenia, które by konkretnie wykazało obecność eteru. Takie właśnie doświadczenie zaprojektowali i wykonali, i A. Michelson i E. Morley w roku 1881. Zanim zajmiemy się szczegółowo owym doświadczeniem, mającym na celu wykrycie prądu eteru, rozpatrzmy najpierw prostą analogię w której tok rozumowania jest taki sam. Załóżmy, że urządzamy wyścigi dwóch identycznych samolotów: Basa i Asa, obu startujących z tego samego miejsca zwanego Startów. Bas ma lecieć na wschód do Grabowa i z powrotem, podczas gdy As ma*

*lecieć na północ do Dębowa i z powrotem. Założmy, że zarówno Grabów jak i Dębów są oddalone od Startowa o 500 km. Jeśli największa prędkość zarówno Basa jak i Asa wynosi 1000km./h i w czasie wyścigów nie będzie żadnego wiatru, to możemy oczekiwać, że wyścig zakończy się po godzinie wynikiem remisowym. I tak też w rzeczywistości będzie.*

*Przypuśćmy teraz jednak, że przez cały czas wyścigów będzie wiał wschodni wiatr z prędkością 100km/h. Wyścig nie zakończy się remisem, gdyż As wygra, a to dlatego, że gdy Bas będzie leciał na wschód do Grabowa, wiatr wiejący z prędkością 100km./h zmniejszy jego prędkość względem Ziemi do 900 km/h (maksymalna prędkość samolotów 1000km/h jest oczywiście szybkością względem nieruchomego powietrza). W drodze powrotnej jednakże prędkość Basa zwiększy się o prędkość wschodniego wiatru: będzie on leciał 1100km.h. Ponieważ jednak w ciągu dłuższego czasu leciał on z mniejszą prędkością, więc jego przeciętna prędkość na całej drodze wyniesie mniej niż 1000km/h. Wprawdzie As będzie miał podczas lotu w obie strony wiatr boczny o prędkości 100km/h i musi zmienić nieco kierunek lotu, aby to skompensować, jednakże wiatr ten nie zwolni jego prędkości tak bardzo, jak Basa. Średnia prędkość Asa wyniesie również nieco ponad 1000km/h, ale w każdym razie będzie wyższa niż Basa.*

*Jeśli chcesz, Czytelniku, możesz sprawdzić ten wynik algebraicznie. Dla podanych tu danych okaże się, że As potrzebuje godziny i 18s-d, żeby dotrzeć do Dębowa i z powrotem, zaś Bas godziny i 30s-d, by dotrzeć do Grabowa i z powrotem. Przeto Bas powróci o 18s-d później, niż As i As zawsze wygra.*

*Dotychczas nie powiązaliśmy w żaden sposób wyścigów między Basem i Asem z doświadczeniem Michelsona – Morleya.*

*Związek ten jest następujący: gdyby kierunek i prędkość wiatru w dniu wyścigu były zmienne, to można by je określić znając końcowe położenia Basa i Asa, gdy wrócą one do Startowa. Jeśli oba wrócą jednocześnie po upływie godziny, to wywnioskujemy, że nie było żadnego wiatru. Jeśli jednak As wróci po godz i 18s, a Bas po godz i 36s, oznaczać to będzie, o można stwierdzić czy to wiatr wschodni, czy zachodni, ale w tym przypadku nie ma to znaczenia). A gdyby Bas i As zamienili się nawzajem trasami, wówczas Bas byłby z powrotem po godzinie i 18s, As zaś po godzinie i 36s.*

*Jednym ze sposobów wykrycia istnienia wiatru byłoby przeto przeprowadzenie wyścigu Basa i Asa, a następnie, po wzajemnej zamianie ich tras, urządzenie wyścigu po raz wtóry. Jeśli istnieje różnica w ich końcowych położeniach, to znaczy, że wiał wiatr, i im większa jest ta różnica, tym wiatr był silniejszy. Tak właśnie postąpili obaj uczeni. Przeprowadzili oni „wyścig” dwóch fal świetlnych biegnących względem siebie pod kątem prostym; następnie zmienili nawzajem ich drogi, pozwolili im się „ścigać” i obserwowali, czy istnieje przesunięcie ich końcowych położzeń. Przesunięcie takie dowiodłoby nieodwołalnie istnienia prądu eteru. Przyrząd użyty przez obu uczonych przedstawia to słowami tak: Jeżeli Ziemia porusza się w prawo względem eteru, to prąd eteru powinien biec w lewo. Fala świetlna ze źródła światła dochodzi do posrebrzanej jednostronnie płytki, która przedziela ją na dwie wiązki, A i B, o jednakowym natężeniu. Wiązka A przechodzi przez posrebrzaną płytkę i dalej biegnie do zwierciadła A, podczas gdy wiązka B odbita od posrebrzanej powierzchni biegnie ku zwierciadłu B. Te dwie wiązki świetlne są odpowiednikami Basa i Asa. Fala A odbita od zwierciadła A powróci do posrebrzanej płytki, a jej połowa, odbiwszy się tam, dotrze do mikroskopu, przy którym znajduje się obserwator (druga połowa fali A wędruje z powrotem do źródła, ale to nie ma znaczenia dla doświadczenia). Podobnie fala B odbita od zwierciadła B dochodzi z powrotem do posrebrzanej płytki, a jej połowa przechodzi do mikroskopu. Obserwator widzi więc w mikroskopie obie fale i notuje ich „końcowe położenie”.*

*Następnie zamienia on wzajemnie drogi fal A i B obracając cały układ o 90 stopni bądź w kierunku wskazówek zegara, bądź też w kierunku przeciwnym. Fala A będzie się teraz rozchodziła w kierunku północ- południe, natomiast fala B - w kierunku wschód -zachód. Obserwator znów notuje ich końcowe położenie i porównując je z poprzednimi „wyścigami” sprawdza czy jest jakaś różnica.*

*Aby określić, czy końcowe położenia są przesunięte, obserwator posługuje się występującym w ruchu falowym zjawiskiem zwanym interferencją; co polega na: -Jeśli dwie fale wpadają do mikroskopu w ten sposób, że ich grzbiety i doliny są odpowiednio jedne pod drugimi, czyli gdy są one w tej samej fazie, to fale wzmacniają się i obserwator widzi w rezultacie falę świetlną*



jaśniejszą niż fale składowe. Nazywamy to wzmocnieniem interferencyjnym. Jeśli jedna z fal jest nieco przesunięta w stosunku do drugiej, to nie wzmacniają się one tak bardzo i obserwator widzi w rezultacie światło ciemniejsze niż poprzednio. Jeśli jednak fale są w fazie przeciwnej, czyli gdy doliny jednej są pod grzbietami drugiej, interferują one ze sobą znosząc się nawzajem i wynikiem tego jest zupełna ciemność w mikroskopie - co nazywamy wygaszaniem interferencyjnym

Przyrząd użyty przez obu uczonych nazywamy interferometrem, gdyż wykorzystuje się w nim zjawisko interferencji. Gdy obserwator obróci teraz interferometr o 90 stopni, to prąd eteru, jeżeli istnieje, powinien spowodować zmianę we względnych położeniach końcowych obu fal, to znaczy jedna z fal powinna być przesunięta w stosunku do drugiej. Przesunięcie to zaś spowoduje zmianę natężenia światła w mikroskopie, wzmacniając je lub osłabiając.

Obaj uczeni w swym doświadczeniu nie otrzymali po wykonaniu obrotu żadnej zmiany w natężeniu światła w mikroskopie, a więc nie wykryli żadnego prądu eteru. Powtarzali oni swe doświadczenie w różnych porach dnia i w różnych porach roku, ale rezultat był zawsze ten sam – nie wykryli prądu eteru. Doświadczenie to od tego czasu zostało jeszcze wielokrotnie powtórzone w różnych odmianach, ale nikt nigdy nie wykrył prądu eteru.

*Możliwe wytłumaczenie wyników Michelsona i Morleya*  
Niemożność wykrycia prądu eteru można było oczywiście wytłumaczyć po prostu nieistnieniem eteru w ogóle. Przekonanie o istnieniu eteru było jednakże zbyt mocno ugruntowane, aby je tak od razu odrzucić. Zamiast tego wysunięto więc aż cztery możliwości pozwalające wyjaśnić przyczynę tego, że uczeni nie mogli wykryć eteru. Najprostsze tłumaczenie powiadało, że Ziemia jest unieruchomiona w eterze i że wszystkie inne ciała we Wszechświecie poruszają się względem Ziemi i eteru. My, znajdując się na Ziemi, nie możemy więc odczuwać prądu eteru, a tym samym nie możemy go wykryć. Pogląd ten jednak nie mógł być przyjęty poważnie, gdyż oznaczałoby to, że Ziemia nasza zajmuje we Wszechświecie jakieś wszechmocne położenie, z tym, że inne ciała niebieskie składają jej hołd krążąc wokół niej. Fakt, że Ziemia jest po prostu jedną z wielu planet krążących wokół Słońca, wystarczył

*do tego, by obalić mniemanie o zajmowaniu przez nią czegoś w rodzaju boskiej pozycji.*

*Dopuszczano również myśl, że Ziemia porywa z sobą stykający się z nią eter. To także uniemożliwiłoby wykrycie prądu eteru.*

*Tłumaczenie to jednak natrafiło na dwie nieprzewyciężone przeszkody: jeśliby eter był porywany wraz z Ziemią, to fale świetlne przychodzące w sąsiedztwo Ziemi również byłyby porywane wraz z nim, gdyż rozchodzą się one w eterze. Gdyby wszakże tak było, widzielibyśmy fale świetlne przychodzące od odległej gwiazdy jako przychodzące stale z tego samego kierunku i nie obserwowalibyśmy zjawiska aberracji odkrytego przez Bradleya.*

*Przypomnijmy sobie, że Ziemia porusza się po swojej orbicie z prędkością 30km/s względem światła przychodzącego od gwiazdy, toteż obserwowane położenie gwiazdy zmienia się po upływie 6-u miesięcy. Gdyby eter poruszał się wraz z Ziemią, to światło z gwiazdy również byłoby przezeń porywane i gwiazda pojawiałaby się stale w tym samym położeniu. Wiemy jednak, że położenie gwiazdy zmienia się czyli że aberracja istnieje, wiemy więc również, że eter nie może być porywany wraz z Ziemią.*

*Drugie zastrzeżenie wysuwane w stosunku do tej możliwości wiąże się z Fresnelowskim współczynnikiem porywania. Jak już poprzedni w tym rozdziale wspomnieliśmy, odkryto, iż pewne ciała jak gdyby porywały ze sobą eter w swym ruchu, ale tylko częściowo: eter przepływał tylko jakby z częścią prędkości poruszającego się ciała. W naszym jednak przypadku konieczne by było, żeby eter był porywany z pełną prędkością poruszającej się Ziemi. Co więcej, nie wiadomo, czy przedmiot tak wielki, jak nasza Ziemia podlega prawu Fresnelowskiego współczynnika porywania, gdyż doświadczalne potwierdzenie go przez Fizeau było wykonane tylko w skali laboratoryjnej.*

*Trzecim możliwym wyjaśnieniem niemożności wykrycia eteru w doświadczeniu obu uczonych było założenie, że prędkość światła jest zawsze stała w stosunku do źródła, które je wysyła.*

*Oznaczałoby to, że światło rozchodzi się zawsze z prędkością 300 000km/s względem interferometru, niezależnie od tego, jak szybko porusza się on wraz z Ziemią w eterze. W rezultacie prędkość światła względem eteru byłaby zmienna. Eter nie mógł być wykryty, gdyż obie wiązki świetlne miałyby zawsze tę samą prędkość względem interferometru i jakiegokolwiek „wyścigi” między nimi zawsze kończyłyby się remisem. Wracając do analogii*

*z Basem i Asem byłyoby tak, jakby one oba miały stale tę samą prędkość względem Ziemi, niezależnie od tego, czy wiatr wieje, czy też nie.*

*Głównym zastrzeżeniem przeciw trzeciemu wyjaśnieniu było to, iż zakładało ono, że prędkość światła względem eteru jest zmienna. Sprzeciwiało się to ogólnie przyjętym pojęciom o ruchu falowym, że prędkość fali musi być stała, jeśli rozchodzi się ona w ośrodku jednorodnym. Klasycznym przykładem były tu fale głosowe rozchodzące się w powietrzu, w stosunku do których ustalono bezspornie, że ich prędkość nie zależy od tego, czy źródło głosu porusza się, czy też nie. Trudno więc było komukolwiek uwierzyć, że na prędkość światła w eterze ma wpływ prędkość źródła.*

*Przecież początkowo, gdy eter został zapostulowany jako nośnik fal, jedną z przyczyn tego była chęć stworzenia ośrodka, względem którego światło miałoby stale tę samą prędkość.*

*Istniały również różne obserwacje astronomiczne wskazujące na to, że prędkość światła nie zależy od prędkości źródła. Jedną z tych obserwacji związana jest z gwiazdami podwójnymi. Gwiazda podwójna – to dwie gwiazdy mniej więcej tej samej wielkości, znajdujące się stosunkowo blisko siebie. Krążą one, jedna wokół drugiej, z dość dużą prędkością, mniej więcej tak, jak dwa końce wyrzuconej w przestrzeń hantli w ten sposób, by krążyły one wokół siebie. Niektóre gwiazdy podwójne krążą w ten sposób, że obserwujemy je w płaszczyźnie ich ruchu, czyli widzimy jedną gwiazdę zbliżającą się ku nam, podczas gdy druga oddala się i vice versa. Jeśli przyjmiemy, że prędkość fal świetlnych wysyłanych przez gwiazdę zwiększa się lub zmniejsza o prędkość, z jaką gwiazda zbliża się ku nam, bądź też od nas oddala, to powinniśmy zauważyć, że zbliżająca się gwiazda obraca się znacznie szybciej, niż ta, która się oddala. Po pewnym czasie gwiazdy zmienią się nawzajem położeniami i cała sytuacja się odwróci. W wyniku otrzymalibyśmy obraz, w którym gwiazdy jakby na zmianę przyśpieszały i zwalniały swój ruch obrotowy, jedna wokół drugiej. Jednakże przeprowadzone obserwacje dowodzą, że zjawisko takie nie zachodzi; gwiazdy podwójne krążą wokół siebie ze stałymi prędkościami. Wniosek stąd, że zupełnie jest nieprawdopodobne, prędkość światła w eterze zależała od prędkości źródła, lub aby była stała względem tego źródła.*

*Najpopularniejsze stało się czwarte z kolei wyjaśnienie negatywnego wyniku doświadczenia powyższych uczonych,*

wyjaśnienie dosłownie wymarzone. Jest to tzw skrócenie Fitzgeralda – Lorentza. W roku 1893 Georg Fitzgerald (1851 -1901 wysunął tezę, że wszystkie przedmioty ulegają skróceniu w kierunku ich ruchu w eterze. Rozumował on w ten sposób: zwykle przedmioty spłaszczają się przy zderzeniu z innymi, np. gumowa piłka uderzona o ścianę lub dojrzały pomidor rzucony na ziemię; dlaczegóż by więc na przedmioty poruszające się w eterze nie miała działać siła ściskająca lub skracająca je? Tłumaczyłoby to w zupełności wynik doświadczenia poprzednich dwóch uczonych. Ramię interferometru poruszające się przeciwsterowi uległoby skróceniu i aczkolwiek fala świetlna rozchodząca się wzdłuż tego ramienia byłaby zwalniana przez prąd eteru, skompensowane to by zostało skrócenie jej drogi. W przypadku Basa i Asa byłoby to tak, jakby ten z nich, który ma pokonać wiatr, miał swą trasę skróconą akurat o tyle, żeby skompensować działanie tego wiatru i w ten sposób przeleciałby on swą drogę w tym samym czasie co przeciwnik, zawsze kończąc wyścig remisem. Fitzgerald otrzymał równanie dające wielkość potrzebnego skrócenia, z którego, jak należało oczekiwać, wynikało, że im szybszy jest prąd eteru czyli większa prędkość Ziemi w eterze, tym większe jest skrócenie ramienia interferometru w kierunku ruchu. Przedmioty poruszające się prostopadle do prądu eteru nie skracaly się w ogóle. Mógłbyś zapytać tu, Czytelniku, czemu po prostu nie zmierzyć kilkakrotnie długości ramion w czasie trwania doświadczenia i nie sprawdzić w ten sposób czy zmieniają się one, czy też nie. Jest to jednak niemożliwe, gdyż wszystkie przedmioty poruszające się z jednakową prędkością względem eteru skracalyby się w tym samym stopniu i długość każdego przedmiotu mierzona centymetrem lub innym przyrządem mierzącym długość pozostawałaby stale ta sama. Nie ma też żadnego innego sposobu, za pomocą którego można by wykryć to skrócenie. Wielkie i liczne były obiekcje w stosunku do hipotezy skrócenia Fitzgeralda-Lorentza, czego zresztą należało oczekiwać. Nie było jednak żadnego dowodu na istnienie takiego efektu, a , co ważniejsze, Fitzgerald nie mógł wytłumaczyć, dlaczegoby przedmioty miałyby ulegać skróceniu skutkiem swego ruchu w eterze. Hipoteza skrócenia była początkowo wysunięta jako możliwe wytłumaczenie wyników obu poprzednich uczonych, o ile taki efekt ma miejsce. Teoria twierdziła też, że wszystkie ciała poruszające się z tą samą prędkością względem eteru ulegną skróceniu w takim samym

*stopniu. Ale przecież żelazo, np, jest dużo cięższe i mocniejsze od drewna i można by się spodziewać większego skrócenia drewna niż żelaza; na to jednak nie było odpowiedzi.*

*Dwa lata później, w roku 1895, hipoteza skrócenia zyskała poparcie w wysuniętej przez Lorentza (1853 – 1928) elektronowej teorii budowy materii. Lorentz przyjął, że materia składa się z ładunków elektrycznych, które wytwarzają pole elektryczne i magnetyczne, a te – zgodnie z ówczesnymi teoriami – znajdują się w eterze.*

*Twierdził on dalej, że gdy jakieś ciało porusza się w eterze, to ruch ten, dzięki ładunkom elektrycznym tworzącym to ciało, wpływa na pola, co z kolei powoduje ruch tychże ładunków, skracając w ten sposób ciało w stosunku przewidzianym przez wzór Fitzgeralda.*

*Jednakże w owych czasach nie można było sprawdzić teorii Lorentza, nie można było zatem ani dowieść, ani obalić istnienia skrócenia Fitzgeralda – Lorentza. W następnym rozdziale zobaczymy, w jaki sposób teoria względności nie tylko potwierdziła skrócenie – pod nazwą wymienionych uczonych – ale co więcej, zobaczymy, że skrócenie to wynika jako logiczna konsekwencja szczególnej teorii.*

### *Wielki problem*

*Widzimy więc, na czym polega wielki problem. Niezachwianie wierzono w istnienie eteru, jednakże wszelkie usiłowania, by go wykryć, kończyły się fiaskiem, a co więcej, racje przemawiające za tym były niepewne i sprzeczne ze sobą. Istnieje więc eter czy nie? Jeśli istnieje, to czemu nie można go wykryć? Jeśli nie istnieje to dlaczego?*

*W tym to stadium naukowych niepowodzeń i sprzeczności została dana zadowalająca odpowiedź, a wytłumaczenie było tak proste, że aby to ujrzeć potrzeba było geniusza – Alberta Einsteina (1879 -1955). I wówczas narodziła się teoria względności.*

### *Rozdział – 3*

#### *Szczególna teoria względności*

#### *Różnica między szczególną a ogólną teorią względności*

*i to nie tylko rozwiązaniem usuwającym na bok wszystkie obiekcje, ale również tłumaczącym inne dręczące problemy, nie związane bezpośrednio z zagadnieniem eteru. Ale to jeszcze nie wszystko.*

*Teoria względności nie tylko zaspokoila intelektualne tęsknoty*

*uczonych owych czasów, lecz nadto przepowiedziała całkiem nowe i wręcz fantastyczne efekty, które osiągnęły swój punkt kulminacyjny w zapoczątkowaniu ery atomowej.*

*Teoria względności składa się z dwóch części : szczególnej teorii względności i ogólnej teorii względności. Szczególna teorię przedstawił Einstein w roku 1905, ogólna zaś w roku 1916. W tym rozdziale zajmiemy się tylko szczególną teorią pozostawiając ogólną teorię na później. Szczególna teoria zajmuje się ciałami lub układami , które albo poruszają się względem siebie ze stałą prędkością(układy nie przyspieszone), albo też nieporuszana się wcale. Ogólna teoria rozpatruje ciała lub układy, które poruszają się względem siebie raz prędzej, raz wolniej (układy przyspieszone). Szczególna teoria jest w rzeczywistości szczególnym przypadkiem ogólnej teorii, gdyż układy poruszające się ze stałą prędkością można uznać za mające przyspieszenie zerowe. Ponieważ prościej rozpatrywać jest układy poruszające się z jednostajną prędkością, aniżeli ze zmienną, więc szczególna teoria została sformułowana wcześniej.*

#### *Dwa postulaty szczególnej teorii*

*Badając obszerny problem możliwości wykrycia eteru i wykonanych w tym celu doświadczeń( w których własności światła odgrywały ważną rolę), Einstein wyciągnął dwa ważne wnioski. Znane one są jako podstawowe postulaty szczególnej teorii i są fundamentem, na którym się ona opiera. Celem tego rozdziału jest szczegółowe przedyskutowanie obu tych postulatów, a następnie przedstawienie wniosków wyprowadzonych matematycznie z tychże postulatów przyjętych za punkt wyjścia.(Same wyliczenia matematyczne pomijamy, wykracza to bowiem za ramy tej książki). Czytelnika pragnącego zapoznać się z nimi odesłać możemy – po tym jak podstawowe pojęcia i wyniki teorii będą mu już dobrze znane – do wielu świetnych opracowań podających wyczerpujące szczegóły przekształceń matematycznych). Doświadczalne potwierdzenie różnych przewidywań szczególnej teorii jest naprawdę przekonujące i tak obszerne, że poświęcimy mu cały następny rozdział.*

*Pierwszy postulat rozwiązał problem eteru. Stwierdził on po prostu, że eter nie może być wykryty. Nim zrozumiemy dlaczego, rozpatrzmy kilka prostych przykładów ilustrujących rozumowanie Einsteina, które doprowadziło go do takiego wniosku.*

*Wyobraź więc sobie , Czytelniku, że znajdujesz się na moście, pod którym wolno przepływa rzeka. Spoglądasz w dół na swe odbicie . Nie potrzeba by Ci było wiele czasu, aby sobie wyobrazić, że to Ty wraz z mostem płyniesz wolno w dal, woda zaś jest zupełnie nieruchoma. Oczywiście nie zostaniesz długo pod tym wrażeniem, gdyż wiesz, że most jest nieruchomy i że to właśnie woda płynie.*

*Rozpatrzmy teraz jednak inny przykład, w którym już nie będzie tak łatwo ustalić, który z dwóch przedmiotów się porusza. Przypuśćmy, że żyjemy w przyszłości, kiedy można po prostu wejść do swej własnej rakiety i wybrać się na wycieczkę w przestrzeń daleko od Ziemi. Wyruszasz sobie z Ziemi z prędkością względem niej 10 000 km/h i nastawiasz wszystkie przyrządy kontrolne w ten sposób, że spodziewasz się krążyć w przestrzeni z tą właśnie prędkością .Po pewnym czasie, gdy ziemia znika z pola twojego widzenia , spostrzegasz za sobą drugą raketę ,która przegania Cię szybko. Dziwi Cie , że leci ona prędzej niż Ty. Byłeś bowiem przekonany, że twoja rakietka jest z najszybszych małych rakietek we Wszechświecie. Bardziej jeszcze jesteś zdziwiony ,gdy pasażer drugiej rakiety, w trakcie mijania daje Ci znać iż wydaje mu się ,ze Ty nie poruszasz się wcale. No i jak możesz dowieść , że rzeczywiście się poruszasz? Wiesz, że on porusza się z inną prędkością niż Ty , gdyż widzisz że on zbliża się ku Tobie. Będziesz prawdopodobnie wyposażony w urządzenie radarowe , podobne do używanych przez policję, do wykrywania samochodów jadących z nadmierną szybkością, które powie Ci, że porusza się on z prędkością 2 000 km/h względem Ciebie. Ale to już jest wszystko, co możesz ustalić.*

*Mógłbyś sadzić, że ponieważ opuścisz Ziemię lecąc z prędkością 10 000 km/h, on zaś przelatuje obok Ciebie o 2 000km/h prędzej, więc porusza się z prędkością 12 000 km/h względem Ziemi. Nie koniecznie musi to być prawda. Może to znaczyć, że Ty lecisz teraz z prędkością 4 000 km/h względem Ziemi lub też on nie porusza się wcale względem Ziemi, Ty zaś lecisz w tył, z powrotem ku Ziemi z prędkością 2 000km/h.*

*Wywnioskujesz więc, że bez jakiegoś nieruchomego przedmiotu, mogącego posłużyć do zmierzenia Twojej prędkości, nie będziesz mógł nigdy powiedzieć, który z was się porusza, a który ewentualnie stoi nieruchomo. Jedyny wniosek, jaki możesz wysnuć , to ten ,że*

*poruszasz się z prędkością 2 000 km/h względem twojego towarzysza z przestrzeni. I nie uda Ci się nigdy zbudować przyrządu choćby najbardziej skomplikowanego, który powiedziałby Ci coś więcej ponadto że poruszasz się względem czegoś innego. I jeśli kiedykolwiek znajdziesz się zupełnie sam w przestrzeni, z dala od wszystkich gwiazd i planet, nie mogąc użyć niczego za punkt odniesienia, względem którego mierzyłbyś swą prędkość, nigdy nie dowiesz się, czy w ogóle poruszasz się, czy nie.*

*To właśnie zjawisko uderzyło Einsteina: wszelki ruch jest względny (stąd teoria względności). Nie można nigdy mówić o ruchu absolutnym jako takim, ale tylko o ruchu względem czegoś. Nie możemy powiedzieć, że jakiś przedmiot ma prędkość taką – a – taką ale musimy powiedzieć, że ma on taką – a – taką prędkość względem tego – a – tego. Nie stosujemy tego do przedmiotów na Ziemi, gdyż rozumie się, że ich prędkości są prędkościami względem Ziemi. Np. ograniczenie prędkości do 80 km/h rozumie się jako 80 km/h względem Ziemi. Poza Ziemią jednakże prędkość jako taka nic nie oznacza.*

*Łatwo wyobrazić sobie rozmowę, jaką za kilkaset lat może prowadzić ojciec ze swym wszędobylskim synem, żadnym podróżnym kosmicznym. Jeśli ojciec powie mu, by w swej rakiemie nie przekraczał prędkości 2 000 km/h, chłopiec może całkiem słusznie spytać: „Ale względem czego, tatusiu, Ziemi, czy Wielkiej Niedźwiedzicy?” W dalszym ciągu tej książki będziemy więc zawsze wskazywać, względem czego mierzymy daną prędkość. Nie ma żadnego ciała niebieskiego we Wszechświecie, którym moglibyśmy posłużyć się jako nieruchomym punktem odniesienia. Ziemia obraca się wokół swej osi: krąży też ona po orbicie Słoń; Słońce i cały układ Słoneczny porusza się w ramach naszej galaktyki wokół Drogi Mlecznej, która z kolei sama też się obraca. A nasza galaktyka jako całość też porusza się względem innych galaktyk. Cały Wszechświat pełen jest ruchu. I w całym tym, zdawałoby się bezładnym zamęcie nikt nie może stwierdzić, co się porusza, a co jest nieruchome. Możemy powiedzieć jedynie, że wszystkie ciała niebieskie poruszają się względem siebie i pod tym względem żadne nie jest wyróżnione. Żadne też z tych poruszających się ciał nie może być uznane za uprzywilejowane w jakikolwiek sposób – np. za centrum Wszechświata, wokół którego krążą wszystkie inne ciała niebieskie.*

*Ale w jaki sposób z tego wynika, że eter nie może zostać wykryty?*



*Bardzo prosto: nieruchomy eter, będąc jedynym nieruchomym ciałem we Wszechświecie, posiadałby ruch absolutny. Stwierdziliśmy jednak, że możemy wykryć tylko ruch względny, dlatego więc nie możemy wykryć eteru. Już na wiele lat przedtem Isaac Newton (1643 – 1727) zwrócił uwagę, iż nie sposób stwierdzić, czy statek porusza się na wodzie, czy też nie, na postawie jakiegokolwiek doświadczenia wykonanego wewnątrz statku. Podobnie my tu na Ziemi nie możemy wykryć ruchu Ziemi w eterze za pomocą doświadczeń wykonywanych na Ziemi. Podkreślić należy, że w tym pierwszym postulacie Einstein nie odrzucił całkowicie idei istnienia eteru; stwierdził on tylko, że eter nie może nigdy zostać wykryty. Co więcej, szczególna teoria nie posługuje się wcale pojęciem eteru i nie jest jej to potrzebne. Żaden z jej wyników nie ma nic wspólnego z eterem. Nauka nie powinna więc zatrzymywać się nad przeprowadzaniem bezużytecznych poszukiwań eteru. Einstein doszedł do tego wniosku dopiero po tym, kiedy liczne doświadczenia wykazały, że ruch Ziemi w przestrzeni nie wpływa w najmniejszym stopniu na się zachowanie fal świetlnych.*

*Drugi podstawowy postulat szczególnej teorii względności stwierdza, że prędkość światła względem obserwatora jest stała. By uchwycić pełne znaczenie tego postulatu, rozpatrzmy najpierw przykładowo fakt z codziennego życia. Załóżmy, że jakiś chłopiec wyrzuca piłkę z prędkością 15 km/h. oznacza to ,ze piłka będzie się poruszać z taką prędkością względem niego, bez względu na to czy jest on nieruchomy czy też nie. jeśli na przykład znajduje się on na jadącej platformie kolejowej, to piłka będzie miała prędkość 15 km/h względem niego; ale prędkość piłki względem ziemi będzie mniejsza lub większa zależnie od prędkości platformy i kierunku jej ruchu. W szczególności, jeśli pojazd jedzie w kierunku mostu z prędkością 5 km/h a chłopiec stojący nieopodal rzuca piłkę stronę mostu ,to prędkość platformy dodaje się do prędkości piłki i jej prędkość wynosi 20 km/h ,uderza w most z taką prędkością. Przeciwnie , gdy chłopiec oddala się od mostu i rzuca weń piłkę, prędkość platformy odejmuje się od prędkości piłki. Która uderza w most z prędkością 10 km/h. Przyjmijmy teraz zamiast chłopca daleką gwiazdę, zamiast mostu - znajdujący się na Ziemi teleskop, zamiast rzucanej piłki - falę świetlną przechodzącą od gwiazdy do teleskopu. Fala świetlna będzie wyrzucona z gwiazdy z prędkością światła, czyli 300 000 km/s względem gwiazdy. Tu jednak kończy się*

*podobieństwo między tymi zdarzeniami. Jeśliby Ziemia i gwiazda zbliżały się do siebie z prędkością 160 000 km/s, to moglibyśmy oczekiwać, że prędkość ta doda się do prędkości fali świetlnej w taki sam sposób, jak prędkość platformy do piłki. W tym wypadku fala świetlna dochodziłaby do oka obserwatora z prędkością 460 000 km/s. Odwrotnie, gdyby gwiazda i Ziemia oddalały się od siebie z prędkością względną 160 000 km/s oczekiwalibyśmy, że prędkości się odejmą, dając w rezultacie prędkość „uderzenia” w oko obserwatora 140 000 km/s.*

*Przy porównaniu obu rezultatów można by się spodziewać, że prędkość światła jest za każdym razem inna. Przeczyłoby to jednakże drugiemu postulatowi, który stwierdza, że prędkość światła jest zawsze stała względem obserwatora. Przytoczone powyżej rozumowanie nie może więc być słuszne; światło nie może mieć różnych prędkości względem obserwatora. Jedynym możliwym wnioskiem jest ten, że fale świetlne w obu przypadkach dojdą do obserwatora z prędkością 300 000 km/s. I zgodnie z drugim postulatem, nie ma najmniejszego znaczenia, jak szybko obserwator i źródło światła zbliżają się ku sobie, lub też oddalają się od siebie; prędkość światła jest zawsze stała i równa 300 000 km-w/s względem obserwatora.*

*Zastanówmy się nad tym przez chwilę. Oznacza to, że fala świetlna wychodząca z gwiazdy będzie miała względem obserwatora prędkość 300 000 km/s, niezależnie od tego, czy on i gwiazda zbliżają się ku sobie lub oddalają od siebie z prędkością względną 299 999 km, czy też 1-go km-a/s! Gdyby ten postulat rządzący ruchem fal świetlnych zastosować do chłopca znajdującego się na platformie, to okazałoby się (w dalszym ciągu zakładamy, że chłopiec wyrzuca piłkę z prędkością 15 km/h), że piłka uderza w most zawsze z tą samą prędkością (15 km/h) niezależnie od tego, w którą stronę i jak szybko porusza się platforma.*

*Była to teza rewolucyjna. I chociaż wydawało się, że przeczy ona zdrowemu rozsądkowi, Einstein przyjął ją zaje den ze swych podstawowych postulatów, gdyż wszystkie doświadczenia prowadziły do takiego wniosku. Wierzył on, iż jest to jedno z podstawowych praw przyrody.*

#### *Wnioski z postulatów*

*Oba te postulaty bardzo kłóciły się z ogólnym w tych czasach sposobem myślenia, wymagały czegoś więcej niż opublikowania.*

*Bez jakiegoś dalszego poparcia uznałoby je po prostu za interesujące lecz nie dowodzące niczego. Przyjmując te postulaty za punkt wyjścia wyprowadzono szereg równań, które nie tylko wyjaśniały pewne szczególne zjawiska, ale przewidywały inne, sprawdzone później doświadczalnie. Najlepszym bowiem sprawdzianem słuszności każdej teorii jest nie tylko wyjaśnienie przez nią zagadek istniejących w tej dziedzinie, lecz przeprowadzenie innych nowych zjawisk, które można sprawdzić doświadczalnie. Ażeby zbudować pomost między postulatami, które same w sobie wydają się tak abstrakcyjne, a równaniami prowadzącymi do sprawdzenia i praktycznego zastosowania teorii, należało znaleźć jakieś podlegające doświadczeniom zjawisko fizyczne, do którego postulaty dałoby się zastosować. Ponieważ postulaty te dotyczą przedmiotów poruszających się ze stałą prędkością względem obserwatora oraz zachowania się fal świetlnych więc najlepiej można to było zrobić biorąc obserwatora opisującego przedmiot poruszający się względem niego ze stałą prędkością. Szczególne zachowanie się fal świetlnych zauważalnie wpłynie na ten opis, gdyż właśnie odbicie fal świetlnych od przedmiotu pozwala obserwatorowi widzieć go i opisywać. Opis przedmiotu przez obserwatora będzie się składał z fizycznych cech przedmiotu, jak długość masa itp., mierzonych przyrządami obserwatora. Liczbowe wartości tych wielkości, przewidywane zgodnie ze szczególną teorią, są ujęte w formułki matematyczne w ten sposób, aby można było porównać je z realnymi pomiarami. Wskażemy teraz pokrótce na metodę wydedukowania ze szczególnej teorii odpowiednich formuł matematycznych*

*Załóżmy, że w przestrzeni znajdują się dwie identyczne rakiety A i B poruszające się względem siebie ze skończoną prędkością. Obie rakiety wyposażone są co najmniej w najprostsze przyrządy naukowe, przede wszystkim w sztabki miernicze i zegary. Niezwykle ważne jest przy tym, iżby przyrządy w rakiecie A były identyczne z przyrządami B. W chwili rozpoczynania doświadczenia, gdy rakietę B przechodzi tuż koło rakietę A i zegary ich wskazują ten sam czas, wybucha niedaleko gwiazda super-nowa. Ani obserwator A ani B nie wiedzą o tym wybuchu, gdyż fale świetlne z wybuchu do nich jeszcze nie dotarły.*

*Wkrótce potem fale świetlne z wybuchu dojdą do A i B, ale wtedy już obie rakiety będą oddalone od siebie o odcinek  $x$ . Zgodnie z drugim postulatem obserwatorzy A i B będą obserwowali fale*

, g  
światłne przychodzące ku nim z tą samą prędkością względem  
każdego z nich; jeśli więc oznaczymy przez  $c$  prędkość fal  
światlnych obserwowaną przez  $A$ , zaś przez  $c'$  - obserwowaną  
przez  $B$ , to  $c = c'$ . Odległość wybuchu od nich jest  $d$  i  $d'$   
odpowiednio, zaś czasy, które ich zegary wskazują,  $t$  i  $t'$ .  
Analizując bliżej to zjawisko znajdujemy związki pomiędzy  
: odległością rakiet  $A$  i  $B$  od siebie, ich względną prędkością  
ich względną prędkością, ich odpowiednimi czasami, prędkością  
światła itd. Otrzymane równania nazywamy transformacją  
Lorenza, gdyż Lorenz już wcześniej doszedł do nich na podstawie  
swojej teorii. Jednakże teoria jego oparta na konieczności  
istnienia eteru była sztuczna i logicznie nie konsystentna. Poza  
tym niektóre z jego wyników dały się zastosować tylko do pola  
elektrycznego i magnetycznego. Natomiast szczególna teoria  
względności ma solidne oparcie w dwóch podstawowych  
postulatach, a wyniki jej stosują się bez wyjątku do wszelkiej  
materii. Posługując się transformacją Lorenza możemy teraz  
przewidzieć, jakie wyniki otrzyma każdy z naszych obserwatorów,  
gdy badać będzie dokładnie długość, masę itp. Drugiego. Omówimy  
to szczegółowo. Ponieważ zaś postulaty, na których całe  
rozumowanie się opiera, są tak sprzeczne z naszym codziennym  
doświadczeniem, nie powinieneś zdziwić się czytelniku, iż wyniki  
będą dość nieoczekiwane i na pierwszy rzut oka dziwaczne.

### Skrócenie długości

Jeśli obserwator  $A$  ma możliwość mierzenia długości rakiety  $B$   
gdy obie rakiety poruszają się względem siebie z prędkością  $v$ ,  
to matematyczne obliczenia mówią iż rakietę  $B$  wyda się skróconą:  
długość jej podaje równanie:

$$L' = L \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

nad nią  $u$  do potęgi 2 (do kwadratu)  
a pod nią  $c$  do potęgi 2 (prędkość światła)

gdzie  $L'$  jest długością, jaką dla  $B$  otrzymuje  $A$ ,

$L$  zaś jest początkową długością  $B$ ,

$v$  - ich względną prędkością,

$c$  - zaś prędkością światła.

Przykładowo: jeżeli rakiety  $A$  i  $B$  gdy znajdowały się względem  
siebie w stanie spoczynku, miały długość po 20 metrów każda,  
teraz zaś oddalają się od siebie ze względną prędkością 150 000  
km/s, to wstawiając tę wartości do naszego równania, można  
wyznaczyć długość  $B$  mierzona przez  $A$ ; wyniesie ona tylko 17 m.

Jeśliby zaś oddalały się one od siebie z prędkością 259 000km/s, to obserwator z A dokonując pomiaru rakiety B otrzymałby w wyniku tylko 10 m. Ponieważ założyliśmy, że rakiety są identyczne, więc gdy nie poruszają się one względem siebie( tj. przy względnej prędkości zerowej),powinny obie mieć tę samą długość. Taki też wynik powinniśmy otrzymać z naszego równania i faktycznie go otrzymujemy, gdyż dla  $v$  równego zeru wartość pierwiastka jest jeden i  $L' = L$ . Przeto gdy B spoczywa względem A, wówczas A stwierdzi, że B ma 20m.

Czytelnik zapyta teraz, jaką wartość otrzyma obserwator B, jeśli zmierzy długość rakiety A w ruchu. W tym przypadku obowiązuje nadal wzór 1, z tym tylko, że należy przestawić  $L'$  i  $L$ , gdyż  $L'$  jest długością widzianą przez obserwatora wykonującego pomiar. Wyniki są tu takie same jak poprzednio, a mianowicie przy prędkości oddalania się 150 000km/s rakietą A będzie miała wg pomiarów obserwatora B, długość 17 m, natomiast przy prędkości 259 000km/s jedynie 10 m. Gdy zaś A i B będą względem siebie spoczywać, B mierząc długość A otrzyma wartość 20 m. Inne ma tu również najmniejszego znaczenia, czy rakiety zbliżają się ku sobie, czy się oddalają – wynik jest zawsze ten sam; zależy on tylko od ich względnej prędkości.

A co będzie, gdy obserwator A zmierzy długość własnej rakiety w chwili, gdy B go mijają? Przekona się wówczas, że wykona ona 20m, ponieważ jego rakietą nie porusza się względem niego. Nie ma tu oczywiście żadnego znaczenia, czy to rakietą B mijają go w chwili wykonywania pomiaru, czy też jego rakietą A porusza się względem jakiegoś innego układu. A zawsze otrzymuje 20 m jako wynik pomiaru swej długości. Podobnie, jeśli B mierzy długość własnej rakiety, otrzyma on zawsze 20 m, nieważnie od tego, czy porusza się ona, czy też nie, względem rakiety A lub jakiegokolwiek innego układu.

To zjawisko skrócenia długości możemy sformułować prosto: gdy jeden obserwator porusza się względem drugiego, bądź zbliżając się doń, bądź oddalając, to każdy z nich obserwuje, że wszystkie przedmioty wokół drugiego skróciły się w kierunku ruchu. Żaden z nich jednak nie zauważy takiego efektu w swym własnym układzie. Widać, że efekt skrócenia jest zauważalny jedynie wtedy, gdy względna prędkość jest porównywalna z prędkością światła. Prędkości, z którymi mamy do czynienia na Ziemi, są znacznie

mniejsze od prędkości światła, w normalnych więc warunkach nie zauważamy efektu skrócenia. Np. równanie 1 pokazuje, że samolot lecący z prędkością 1200 km/h względem obserwatora ulegnie skróceniu o około 1-ą milionową milionowej cm-a, czyli mniej więcej o średnicę jądra atomowego. Tak małych wielkości nie można wykryć nawet za pomocą naszych najbardziej precyzyjnych przyrządów, nie mówiąc już o tym, że nie można zauważyć ich gołym okiem.

Niektórym Czytelnikom całe to rozważanie może wydać się bardzo sztuczne i pozbawione jakiegokolwiek znaczenia, ponieważ niepodobieństwem byłoby zmierzyć za pomocą linijki długość rakiety mijającej nas z prędkością 150 000 km/s. Czyż zatem wnioski wynikające z równania 1-0 nie mają żadnego znaczenia? Odpowiedź brzmi: wnioski te zachowują swą ważność. Linijki użyto tu tylko przykładowo, gdyż jest ona najlepszym przyrządem do mierzenia długości, wszystkie wyniki jednak są ważne niezależnie od tego, w jaki sposób mierzyć będziemy długość. W rzeczywistym doświadczeniu przyrządy miernicze byłyby bardzo skomplikowaną kombinacją urządzeń z obwodami elektrycznymi, wiązkami świetlnymi itp.

Następnym ważnym wnioskiem, który teraz będziemy rozpatrywać, jest wzrost masy wraz ze wzrostem prędkości. Przypuśćmy, że rakiety A i B mają na Ziemi, gdy spoczywają względem siebie, masę po 450 km-w każda. Jeśli teraz obserwator A zmierzy masę rakiety B wówczas, gdy obie rakiety poruszają się względem siebie, stwierdzi on, że masa B wzrosła, a wartość liczbowa tego wzrostu ujęta jest wzorem 2-gim:

$m' =$  kreska ułamekowa

nad nią  $m$

pod nią pierwiastek 1 kreska ułamekowa

nad nią  $u$  do potęgi 2

pod nią  $c$  do potęgi 2

gdzie;  $m'$  oznacza wartość masy B otrzymaną przez obserwatora A,

$m$  – masę początkową B czyli, jak ją nazywamy, masę początkową  
 $u$  – ich prędkość względną, zaś

$c$  – prędkość światła.

Przykładowo: niech rakiety A i B, gdy spoczywają względem siebie na Ziemi, mają masę spoczynkową po 450 km każda; gdy zaczną się one zbliżać ku sobie lub oddalać od siebie ze względną

prędkością 150 000 km/s, to wzór 2-gi mówi, iż dla obserwatora A, który mierzy masę B bądź usiłuje go zatrzymać, bądź też za pomocą innej podobnej metody, B będzie miała masę około 540 kg. Zaś przy prędkości 259 000 km/s masa B byłaby dwukrotnie większa, czyli 900 kg! Dla jeszcze większych prędkości masa byłaby jeszcze większa; nasz wzór daje jej dokładną wartość.

Jeśli obserwator B mierzy masę A, to zauważy, że masa rakiety A, wzrosła o wielkość wynikła ze wzoru 2. Teraz wszakże  $m'$  oznacza masę mierzona przez obserwatora B,  $m$  zaś – masę spoczynkową A (która oczywiście jest dalej równa masie spoczynkowej B). Jeśli obserwatorzy A i B mierzą nawzajem masy swoich rakiet pozostających jednocześnie w spoczynku względem siebie, wówczas  $v$  we wzorze 2 jest równe zeru, wartość pierwiastka jest jeden, a  $m' = m$ , tzn. masy ich obu są równe i wynoszą po 450 kg. Co więcej, każdy z obserwatorów wyznaczając masę własnej rakiety zawsze stwierdzi, iż wynosi ona 450 kg niezależnie od tego w jaki sposób rakieta porusza się względem jakichkolwiek innych ciał, gdyż przecież nie porusza się ona względem siebie samej.

Wzór na wzrost masy stwierdza więc, że gdy przedmiot porusza się względem obserwatora, to masa tego przedmiotu wzrasta, przy czym wielkość tego wzrostu zależy od prędkości przedmiotu względem obserwatora. Czyż nie zakrawa więc na ironię, że niektórzy otyli ludzie chcą zmniejszyć swój ciężar przez gimnastykę, a częstokroć przez uprawianie biegów? Wszak szczególna teoria względności mówi, że ich masa wzrośnie i to im szybciej będą biec, tym większa stanie się ich masa. Przykładowo: mężczyzna ważący 130 kg-biegłby z prędkością 25 km/h (co jest zresztą zupełnie nieprawdopodobne), to masa jego wzrosłaby o około jedną stumiliardową grama, czyli o 0,0000000001 grama (oczywiście efekt byłby większy, gdyby mógł on biec szybciej).

Jako analogię ilustrującą wzrost masy wraz prędkością można podać okręt płynący po morzu, który zawsze trochę wody pociąga za sobą i im szybciej płynie, tym więcej wody za sobą pociąga.

Okręt więc, gdy jego prędkość wzrasta, ma jakby większą masę, gdyż woda przezeń pociągana porusza się wraz z okrętem stając się jakby częścią jego masy.

Chcemy cię tu przestrzec, Czytelniku, abyś nie przypuszczał, że efekt wzrostu masy oznacza, iż rozmiary przedmiotu (jego długość, szerokość, wysokość) zwiększają się. Nie jest to prawdą. Musisz sobie wyobrazić przedmiot, który nie zwiększając swej objętości,

staje się cięższy. Przypomnij sobie, że efekt skrócenia przewiduje, iż w rzeczywistości przedmiot staje się mniejszy, gdy porusza się on względem obserwatora, podczas gdy masa jego wzrasta.

### *Dodawanie prędkości*

*Dla ilustracji tego, co mówi szczególna teoria o dodawaniu prędkości rozpatrzmy dwa samochody A i B, zbliżające się do przechodnia z prędkością względem niego 100 km/h. Oznacza to, że gdyby przechodzień ten mierzył prędkość każdego z samochodów stwierdziłby, iż wynosi ona 100 km/h. Bądź też odwrotnie: każdy z kierowców mierząc prędkość własnego samochodu względem przechodnia otrzymuje 100 km/h. Jeśli zaś kierowca samochodu A zmierzy swą prędkość względem B, to otrzyma w wyniku 200 km/h, ponieważ każdy z nich robi 100 km/h względem przechodnia. W ogólnym przypadku używamy tu zwykle równania 3:*

$$V_{ab} = V_a + V_b$$

*gdzie  $V_{ab}$  jest prędkością samochodu A względem samochodu B lub względem A;  $V_a$  jest prędkością A względem przechodnia i podobnie  $V_b$ . Przypuśćmy teraz jednak, że mamy do czynienia ze znacznie większymi prędkościami. Załóżmy, że A i B są raketami kosmicznymi, z których każda zbliża się do punktu z prędkością względem niego 160 000 km/s. Gdyby punkt mierzył prędkości obu raket względem siebie, stwierdziłby, że wynoszą one po 160 000 km/s. Podobnie obserwatorzy z A i B określiliby prędkości własnych raket względem punktu na 160 000 km/s. Gdyby jednak obserwatorzy z rakiety A lub B mierzyli prędkości własnych raket, jeden względem drugiego, to szczególna teoria względności twierdzi, że wynik nie wynosiłby 320 000 km/s, jak przewiduje równanie 3. Szczególna teoria mówi, że ich względna prędkość dana jest równaniem 4:*

$$V_{ab} = \frac{V_a + V_b}{1 + \frac{V_a V_b}{c^2}}$$

*gdzie  $V_a$  i  $V_b$  oznaczają prędkość raket A i B względem punktu,  $c$  zaś prędkość światła. Jeśli wstawimy tu teraz swoje wartości  $V_a$  i  $V_b$  oraz jak o wartość  $c = 300\,000\text{ km/s}$ , to otrzymamy, że względna prędkość A i B wynosi tylko 250 000 km/s! Jeśli równanie 4 jest prawidłowe, to równanie 3 – nie. Jednakże dla celów praktycznych, przy prędkościach znacznie mniejszych od prędkości światła, można je do posługiwać się równaniem 3. W przypadku na*



przykład, dwóch samochodów zbliżających się do siebie, każdy z prędkością 100km/h względem przechodnia, równanie 4 daje nam jako ich dokładna względna prędkość wartość mniejszą od 200 km/h o około jedną milionową centymetra.

### Największa możliwa prędkość

Chyba najbardziej zdumiewającą rzeczą, jak wynika ze szczególnej teorii , jest fakt, że istnieje pewna prędkość, której nic nie może przekroczyć. Aby zobaczyć, skąd to się bierze, powróćmy do równania 1, które rządzi skróceniem poruszającego się przedmiotu. Im szybciej porusza się przedmiot względem obserwatora, tym staje się on krótszy. Pytanie teraz, co się stanie, gdy będziemy zwiększać prędkość coraz bardziej i bardziej. Czy przedmiot w ogóle zniknie? Wzór nasz twierdzi, że w pewnym sensie tak się stanie, gdyż łatwo zauważyć, że dla prędkości  $u$  , zbliżającej się do prędkości światła  $c$ , długość przedmiotu zbliża się do zera, zaś dla  $u$  równej  $c$  długość wynosi zero, co oznacza, że przedmiot znika.

Przypuśćmy teraz, że prędkość  $u$  w równaniu jest większa od  $c$  , i wynosi powiedzmy  $2c$  , czyli równa jest dwukrotnej prędkości światła. Wówczas pod pierwiastkiem otrzymamy liczbę  $3$  ze znakiem  $-$  . Oznacza to, że długość przedmiotu równa jest teraz jego pierwotnej długości przez pierwiastek kwadratowy z  $-3$ . Matematyka uczy jednak, że nie można wyciągnąć pierwiastka z liczby ujemnej – taka liczba byłaby czysto urojona, W tym przeto przypadku długość przedmiotu byłaby urojona; trudno więc sobie wyobrazić, jak mógłby wyglądać taki przedmiot.

Zobaczmy teraz co wzór 2 przewiduje dla masy przedmiotu, którego prędkość zbliża się do prędkości światła. Gdy  $u$  wzrasta, pierwiastek w mianowniku maleje, a ponieważ wartość całego ułamka rośnie, gdy mianownik maleje, masa przedmiotu rośnie, jak zauważyliśmy już poprzednio. Co więcej, jeśli  $u$  wzrośnie tak, że będzie równe prędkości światła  $c$  , to mianownik stanie się zerem, co oznacza, że masa stanie się nieskończona.

Jedynym wnioskiem, , jaki można stąd wyciągnąć, jest to, że prędkość światła jest największą możliwą prędkością. Nic nie może poruszać się szybciej niż światło, ponieważ jak widzieliśmy, nie tylko długość poruszającego się ciała skurczyłaby się do zera, ale i jego masa stałaby się nieskończoną. Właściwie słuszniej jeszcze jest powiedzieć, że znane nam przedmioty materialne nie mogą nigdy poruszać się nawet z prędkością światła, ponieważ

*masa ich stałaby się nieskończona, co oznaczałoby, że aby je ruszyć, potrzebna by była nieskończona energia. Nieskończona energia oznacza całą energię we Wszechświecie plus jeszcze znacznie więcej.*

*Widzimy teraz, dlaczego z równania 4-go nie wyniknie wartość 300 000 km/s dla względnej prędkości A i B tak jak uprzednio oczekiwaliśmy na podstawie równania 3-go. 320 000 km/s byłoby prędkością większą od prędkości światła, a taka prędkość jest niemożliwa. Niezależnie od tego, jak dwa przedmioty poruszają się względem obserwatora, ich prędkość względem siebie jest zawsze mniejsza od prędkości światła. Przypuśćmy na przykład, że rakiety A i B mają względem punktu prędkości równe  $0,9c$ . Gdy wstawimy te wartości do równania 4 widzimy, że pasażerowie w A i B, mierząc prędkość swych rakiet, jeden względem drugiego, otrzymają  $0,9c$ , co oczywiście jest poniżej prędkości światła. Z filozoficznego punktu widzenia można przyjąć, że jakiś duży statek kosmiczny jest wysłany z Ziemi z prędkością względem niej równą  $0,9c$ . Gdy statek jest daleko, wyrzuca on z przodu pocisk z szybkością  $0,9c$  względem statku. Z pewnością, stwierdzi filozof pocisk musi się poruszać względem Ziemi z prędkością  $1,8c$ . Wy, powie dalej filozof, mówicie, że tylko okazuje się, iż prędkość wynosi  $0,99c$  względem Ziemi. Fizyk odpowie na to, że wierzyć on może tylko przyrządom. W tym przypadku jego instrumenty i obserwacje powiedzą mu, że pocisk porusza się z prędkością  $0,99c$  względem obserwatora na Ziemi, gdyż wszystkie one są rządzone przez fizyczne prawa rozchodzenia się fal świetlnych. Ten wynik stanowić będzie dla uczonego dowód i nikt nie może dostarczyć dowodu przeciwnego.*

#### *Równoważność masy i energii*

*Jedno zwłaszcza stwierdzenie szczególnej teorii względności wywarło olbrzymi wpływ na nasze stulecie: że stosunkowo mała ilość materii jest równoważna ogromnej ilości energii. Pierwszym przekonywającym tego przykładem, była eksplozja pierwszej bomby atomowej 16 lipca 1945 w Alagomogordo w Nowym Meksyku. Związek łączący masę z energią otrzymuje się w następujący sposób. Stwierdziliśmy już, że masa przedmiotu wzrasta wraz z prędkością. Wynika stąd, że energia jego musi również wzrastać, gdyż z dwóch przedmiotów mających tę samą prędkość przedmiot cięższy posiada większą energię. Można wykazać, że dodatkowa energia związana z dodatkową masą równa jest przyrostowi masy pomnożonemu przez*

kwadrat prędkości światła. A gdy już wiadomo, że dodatkowa masa ma związaną ze sobą energię, to czemu nie mielibyśmy założyć, że cała dowolna masa ma związaną ze sobą energię! Wyrażamy to równaniem 5:

$$E=MC^2$$

gdzie  $E$  - jest równoważną energią,  $M$  - masą przedmiotu -  $C$  prędkością światła. Równanie 5 oznacza, że jeśli masa jakiegokolwiek substancji jest całkowicie zmieniona energią, tak że żadna część tej masy nie pozostała w dawnej postaci, to ilość otrzymanej energii podana jest tym równaniem. Czytelnik, pn, może łatwo sprawdzić, że jeśli wstawimy w to równanie masę pół kg węgla, to równoważna energia wynosi około 45 000 000 000 000 000 jouli. Jest to mniej więcej tyle, ile wynosi całkowita energia wytwarzana w ciągu 1-o miesiąca przez wszystkie elektrownie USA. Łyżeczka pyłu węglowego dostarczyłaby na tej drodze dość energii, aby największy nawet okręt mógł wiele razy przepłynąć z Nowego Jorku do Europy i z powrotem.

Może zainteresuje Cię, Czytelniku, co się dzieje, gdy w zwykły sposób spalamy pół kg węgla. Czyż nie wyzwala się wówczas energia? Oczywiście, że tak; jest to jednak proces czysto chemiczny - cząsteczki węgla zmieniają swe wzajemne położenie łącząc się z cząsteczkami tlenu powietrza i w tym procesie wyzwala się energia cieplna. Nie zachodzi tu jednak żadna mierzalna przemiana masy w energię zmienia się w smołę, popiół, gazy itd. Jeśli zważymy te końcowe produkty, to ich łączny ciężar da znów w przybliżeniu pół kg. Jeśli porównamy ilość energii powstałej przy spalaniu pół kg węgla z energią wyzwoloną przy całkowitej zamianie jego masy w energię, to okaże się, że ta ostatnia będzie 3 miliardy razy większa. Oczywiście proces, w którym dająca się ocenić ilość masy zamieniana jest w energię, jest czymś całkowicie różnym od zwykłego spalania (te tak zwane procesy jądrowe omawiać będziemy w następnym rozdziale).

### *Czas w szczególnej teorii*

Do tej pory nie powiedzieliśmy jeszcze nic o tym, w jaki sposób obserwatorzy  $A$  i  $B$  porównują swoje zegary. Założyliśmy, że w ich są identyczne i że wskazują tę samą godzinę w chwili, gdy  $A$  i  $B$  są obok siebie. Niech będzie wówczas, na przykład dwunasta godzina, dla uproszczenia rozumowania będziemy ją nazywać godziną zerową.

*Jeśli obserwator A spojrzy wówczas na swój zegar i porówna jego wskazania zegarem B, to zdziwi się gdyż zegar B będzie szedł wolniej. Dokładnie to przewiduje właśnie szczególna teoria, ponieważ z matematycznych obliczeń wynika, że czasy pokazywane przez różne zegary związane są w tym wypadku równaniem 6:*

$$t' = t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

*gdzie  $t'$  oznacza czas jaki A odczyta na zegarze B  
zaś  $t$  czas jaki A odczyta na swoim własnym zegarze.*

*Dla przykładu przypuśćmy, że względna prędkość rakiet A i B wynosi 150 000 km/s; wówczas obserwator A zaobserwuje, że zegar B idzie jedynie z prędkością około dziewięciu dziesiątych jego własnego. Jeśli A na swoim zegarze odczyta, że minęła jedna godzina, czyli, że jest pierwsza to w myśl równania 6 czas  $t'$ , czyli czas, jaki A odczyta na zegarze B, wyniesie tylko około 54 min, czyli odczyta on, że jest za 6 min pierwsza. I niezależnie od tego, o której godzinie A spojrzy na zegar, zawsze na zegarze B odczyta on czas wynoszący tylko 0,9 czasu wskazanego przez jego własny zegar. Gdyby względna prędkość rakiet A i B wynosiła 270 000 km/s to obserwator A stwierdziłby, że zegar B idzie dwa razy wolniej niż jego własny. Gdy teraz A na swoim zegarze będzie miał pierwszą godzinę, zauważy, że na zegarze B brak jeszcze całej pół godziny do pierwszej. I im wyższa będzie ich względna prędkość, tym dla A wolniej będzie szedł zegar B. Niezależnie od tego, czy rakiety A i B zbliżają się, czy oddalają się siebie – obserwatorowi A zawsze wyda się, że zegar B się spóźnia.*

*Jeśli B odczyta czas na swoim zegarze i porówna go z czasem A, to wyda mu się, że zegar A spóźnia się, gdyż teraz  $t$  w równaniu oznaczać będzie czas B na jego własnym zegarze,  $t'$  zaś – czas odczytany przez B na zegarze A. Przy względnej prędkości 150 000 km/s B obserwuje, że zegar A idzie z prędkością tylko dziewięciu dziesiątych. Podobnie przy 270 000 km/s B obserwuje, że zegar A idzie dwa razy wolniej.*

*Niczego innego nie można się było spodziewać, wiemy bowiem, że gdy dwaj obserwatorzy poruszają się względem siebie, to wszystkie pojawiające się efekty są dla obu takie same. Oczywiście, gdy dwaj obserwatorzy nie poruszają się względem siebie, czyli gdy ich względna prędkość jest zerem, to  $t' = t$ , i tak jak tego mogliśmy oczekiwać, oba zegary pokazywać będą ten sam czas. Z tego efektu zwanego dylatacją czasu wynika, że jeśli dwaj obserwatorzy porusza się względem siebie ze stałą prędkością, to*

każdy z nich obserwuje, że u drugiego wszystkie procesy czasowe są zwolnione. Możesz, Czytelniku, całkiem słusznie wywnioskować z naszych poprzednich rozważań, że powodem, dla którego obserwatorom A i B wydaje się, że zegar drugiego się spóźnia, jest nie tylko szczególne zachowanie się fal świetlnych wyrażone w postulatach, lecz również to, że fale świetlne potrzebują pewnego czasu, by dotrzeć od jednego z nich do drugiego. Efekt dylatacji czasu spowodował, że zaczęto patrzeć na czas zupełnie inaczej niż do tej pory. Przedtem zawsze uważano, że czas jest dla wszystkich ten sam; inaczej mówiąc, czas biegł z tą samą prędkością dla wszystkich ludzi i przedmiotów we Wszechświecie. Uważano, że czas jest czymś płynącym równomiernie, dla każdego z tą samą prędkością, jak wielka wolno płynąca rzeka, której nurt jest taki sam we wszystkich punktach wzdłuż jej brzegów. Szczególna teoria wykazała, że nie jest to prawdą. Pokazała ona że dla dwóch obserwatorów poruszających się względem siebie czas płynie z różną prędkością. Inną jeszcze cechą czasu, silnie uwydatnioną przez szczególną teorię, jest, że czas jest różny dla różnych obserwatorów znajdujących się w różnych punktach przestrzeni i nie poruszających się względem siebie. Wyrażając się ściślej powinniśmy powiedzieć, że w tym przypadku dane są różne gdyż rytm procesów czasowych jest ten sam dla obu, jak wynika z równania 6. Dla zilustrowania tego rozpatrzmy sytuację gdzie mamy Ziemię, gwiazdę Betelgeuze z gwiazdozbioru Oriona i Aldebaran z gwiazdozbioru Byka. Betelgeuze i Aldebaran są oddalone od Ziemi: pierwsza o 300, drugi o 53 lata świetlne, Aldebaran zaś o około 250 lat po Betelgeuze. Przypuśćmy teraz, że w nocy 17 marca 2000r w Orionie następuje rozbłysk spowodowany wybuchem Betelgeuze. Data ta jak i inne, które tu wymieniamy jest podana podług naszych ziemskich metod mierzenia czasu. My na Ziemi nie zobaczymy w tym dniu wybuchu, gdyż Betelgeuze jest oddalona od nas o 300 lat świetlnych, co oznacza, że potrzeba 300 lat by dotarły do nas fale świetlne z wybuchu. I tylko w ten sposób możemy dowiedzieć się o wybuchu; nastąpi to 17 marca 2250 r, gdyż Aldebaran jest w odległości 250 lat świetlnych od Betelgeuze. Widać więc, że jedno zjawisko, jakim jest wybuch, nie jest równoczesne dla trzech obserwatorów znajdujących się w różnych miejscach, gdyż każde z nich zdarzy się w innym czasie. Gdy nie znano jeszcze teorii względności, odległość między dwoma

punktami określano po prostu na podstawie zmierzenia odległości miarką lub czymś podobnym. Czas przy pomiarach nie był uwzględniany, gdyż uważano, że jest on taki sam w obu punktach. Nie jest to prawdą. Czas jest różny w dwóch różnych punktach. Trzeba więc wziąć go pod uwagę i włączyć do pomiarów czas. Wyobraźmy sobie ilustrację do równań określających odległość między dwoma punktami przy rosnącej liczbie wymiarów. W jednym wymiarze długość odcinka  $OA$  jest po prostu odległością wzdłuż osi  $x$  i pomiar jest nader prosty. W dwu wymiarach długość podana jest przez znane twierdzenie Pitagorasa. W przypadku trójwymiarowym znajdujemy odległość stosując dwukrotnie to twierdzenie. Gdy szczególna teoria stwierdziła, że do danych, wyrażających odległość między dwoma punktami, należy włączyć również czas, nie było rzeczą łatwą ustalenie poprawnego równania. Działy matematyki: planimetria i trybometria, obejmujące wszystkie znane prawa przestrzeni dwuwymiarowej, rozwijały się przez długi czas. Stopniowo rozszerzano je na trzy wymiary, tworząc nowe gałęzie matematyki, zwane trygonometrią sferyczną i stereometrią. Jednakże te działy matematyki nie mogły poradzić sobie z dodatkowym czynnikiem - czasem, i dlatego aby go móc uwzględnić, musiano stworzyć i rozwinąć całkiem nową gałąź matematyki zwaną rachunkiem tensorowym.

Otrzymane ostatecznie wyrażenie na odległość jest przedstawione następująco: - Jak w poprzednich równaniach  $c$  oznacza tu prędkość światła,  $t$  zaś czas. Gdy przekonano się, że wyrażenie to jest podobne do twierdzenia Pitagorasa z dodatkowym czynnikiem ( $ct$ ) do potęgi 2 nasunął się naturalny wniosek, że czas występuje matematycznie, tak jak by był czwartym wymiarem. To jest powodem, że czas nazywamy czwartym wymiarem i to wyjaśnia w związku z teorią względności pochodzenie takich słów, jak czasoprzestrzenny i czasoprzestrzeń.

Nie wyobrażaj sobie jednak, Czytelniku, że czas jest dodatkowym wymiarem fizycznym w takim sensie, że można go widzieć i czuć, jak jakiś przedmiot materialny. Nasz Wszechświat jest zbudowany w taki sposób, że nikt w nim nie może widzieć w czterech wymiarach. Niektórzy ludzie upierają się, że mogą „myśleć w 5-u (lub więcej) wymiarach” – ale kto wie, co to ma znaczyć?

Fakt, że dla obserwatora poruszającego się względem drugiego ze stałą prędkością czas w układzie tamtego płynie wolniej, jest

źródłem słynnego paradoksu czasu lub paradoksu zegarów. Zanim ten paradoks przedstawimy, musimy dokładnie uświadomić sobie, że to, iż czas w poruszającym się układzie płynie wolniej, oznacza nie tylko, że zegary w tym układzie idą wolniej, lecz, że wszystkie procesy czasowe są zwolnione. Oznacza to, iż procesy trawienia, procesy biologiczne, drgania atomów - wszystko jest zwolnione.

Wciąż pamiętając o tym możemy przedstawić paradoks zegarów. Oto rakieta międzygwiazdowa z załogą złożoną z kilku mężczyzn wyrusza w podróż na Arktura w gwiazdozbiornie Wolarza., który jest oddalony od Ziemi o 33 lata świetlne. Jeśli rakieta leci z prędkością bliską światła to przybędzie na Arktura po upływie 33 lat w/g czasu ziemskiego. I jeśli wróci, to przybędzie na Ziemię po ok. 66 latach od jej opuszczenia. Ponieważ rakieta porusza się z wielką prędkością względem Ziemi, wszystkie czasowe procesy w rakiecie były zwolnione. Mężczyznom w rakiecie nie wyda się, że trzeba było „aż 33 lat, by przebyć drogę w jedną stronę. A gdy powrócą wyda im się, że minął tylko 1 dzień. Dla ludzi na Ziemi będzie to jednak 66 lat. Gdy kosmonauci wyjdą z rakiety przekonają się, że ich żony są stare i zbyt słabe by wyjść na ich spotkanie lub co gorsza dawno już umarły ze starości. A niejednym z powracających może stanąć wobec wstrząsającej perspektywy powitania nieznanego córki lub syna, który ma teraz 66 lat i jest o kilkadziesiąt lat starszy od ojca! Wydawać się może kuszące utrzymanie młodości przez podróżowanie w przestrzeni, ale jakie to mogłoby stworzyć komplikacje!

#### Rozdział 4

##### Doświadczalne potwierdzenie szczególnej teorii

##### Wzrost masy wraz z prędkością

Cząsteczki promieniotwórcze. Pierwsze potwierdzenie wzrostu masy wraz z prędkością dały doświadczenia Walthera Kaufmanna z lat 1902-1906, szczególnie zaś Alfreda Heinricha Bucherera z r. 1909. Pracowali oni nad czymś zupełnie nie związanym z teorią względności – lub przynajmniej tak im wydawało. Wiedzano już od pewnego czasu, że pewne substancje, np. rad, wyrzucają stale trzy różne rodzaje małych cząstek lub promieni. Substancje takie zwą się promieniotwórczymi. Obaj uczeni badali jeden z rodzajów promieniowania, znany jako promieniowanie beta, i starali się określić, czym ono jest w rzeczywistości. W trakcie badań doszli

*do tego z jakimi prędkościami poszczególne cząstki wchodzące w skład promieniowania są wysyłane z różnych substancji promieniotwórczych oraz jaki jest ładunek elektryczny i masa pojedynczej cząstki.*

*Stwierdzili też, że prędkości są porównywalne z prędkością światła oraz, że im większa jest prędkość, tym większa masa cząstki. Otrzymali więc dużo różnych cząstek beta każda z inną masą. Uczonym tym wydało się całkiem nielogiczne, że może istnieć tak dużo różnych cząstek tworzących te same promienie beta. Wówczas bowiem, gdy doświadczenia te wykonywali, fizyka atomowa dopiero się rodziła i większość uczonych sądziła, że cała materia zbudowana jest z wielu drobnych cząstek, z których większość jest jednakowa.*

*Przyszło im więc na myśl, że otrzymanie przez nich różnych mas może wynikać z tego, że cząstki w różnych substancjach mają różne prędkości, a w takim wszak przypadku szczególna teoria przewiduje, że masy ich będą różne. Zastosowali więc równanie 2 wstawiając doń jako  $m$  - masę, którą otrzymali w doświadczeniu jako  $u$  - prędkość cząstki. Otrzymali z tego, że masa spoczynkowa jest identyczna dla wszystkich cząstek. Co więcej, masa ta jest równa masie elektronu. A gdy jeszcze do tego stwierdzili, że ładunek każdej z cząstek jest również taki sam, jak ładunek elektronu, doszli do wniosku, że te tajemnicze promienie beta nie są niczym innym, jak elektronami wyrzucanymi z dużymi prędkościami z promieniotwórczej substancji. Wynik ten stanowił pierwszy doświadczalny dowód równania 2-go i pierwsze potwierdzenie szczególnej teorii względności.*

.....  
*Teoria Sommerfelda orbit atomowych. Następne potwierdzenie wzrostu masy przewidzianego przez szczególną teorię związane jest z wysuniętą w r 1916 przez Arnolda Sommerfelda (1869-1951) poprawioną teorię atomu. Uprzednia teoria Nielsa Bohra (ur.1885) z r 1913 podawała, że atom składa się z jądra w środku i elektronów krążących wokół niego po okręgach. Sommerfeld wykazał, że słuszniej jest założyć, iż tory elektronów nie są kołami lecz elipsami, i że elektrony krążą wokół jądra, które znajduje się w jednym z ognisk elipsy, w taki sposób, jak planety krążą wokół słońca. W roku 1609 Johannes Kepler stwierdził, że gdy planeta krąży wokół*



słońca, to prędkość jej zmienia się podczas obrotu od pewnego minimum do maksimum i znów do minimum, przy czym wielkość tej zmiany zależy od spłaszczenia orbity. Prędkość orbitalna Ziemi waha się od 30 do 30,5 km/s, zmiana ta jest nieznaczna, gdyż orbita Ziemi jest prawie kołem. Ponieważ zmienia się prędkość, więc ze wzoru na wzrost masy wynika, iż masa elektronu czy planety powinna się również zmienić i to im większa jest zmiana prędkości, tym większa będzie zmiana masy. Dla planet zmiana ta jest zbyt mała by ją można było wykryć. Jednakże średnia prędkość elektronu na jego orbicie w ruchu wokół jądra wynosi ok. 0,01 prędkości światła, a więc dla dość płaskiej orbity zmiana prędkości i zmiana masy jest mała, ale wykrywalna. Sommerfeld udowodnił rachunkowo, że elektron w wyniku zmiany masy nie będzie, krążył wokół jądra po tej samej elipsie jak Ziemia wokół Słońca, leczże elipsa ta będzie się wolno obracała i elektron zakreśli rozetę. Mówi się, że oś elipsy wykonuje precesję. Sprawdzenie więc efektu wzrostu masy dla atomu polegało na zbadaniu, czy tor elektronu wokół jądra jest elipsą, czy też rozetą. Elipsa wykazywałaby, że masa elektronu się nie zmienia, rozeta zaś dowodziłaby, że się zmienia, tak jak przewiduje szczególna teoria. Na pierwszy rzut oka może się wydawać, że znalezienie toru po jakim krąży elektron wokół jądra, jest niemożliwy; nie tylko bowiem nie mamy żadnego sposobu wyluskania pojedynczego atomu z jakiejś substancji, lecz ponadto nie można by takiego atomu dojrzeć nawet za pomocą najsilniejszego mikroskopu. Co więcej, ponieważ prędkość orbitalna elektronu wokół jądra stanowi około jednej setnej prędkości światła, więc biegnie on zbyt szybko byśmy mogli go gdzieś zobaczyć

Nie musimy jednak widzieć krążącego elektronu, aby odpowiedzieć na pytanie, jaki kształt ma jego orbita. Na szczęście szczególny kształt orbity powoduje pewne efekty, które możemy badać doświadczalnie. Efekty te występują w tak zwanym widmie substancji. Większość z nas wie, że jeśli promień świetlny przechodzi przez szklany klin zwany pryzmatem, to wychodzące światło rozszczepione jest na wielobarwną wiązkę kolorów - czerwony, pomarańczowy, żółty, zielony, niebieski i fioletowy - zwaną widmem. Świetnym przykładem widma jest tęcza; światło jest tu rozszczepione przez drobniutkie kropelki wody w atmosferze. W pracy doświadczalnej do wytwarzania możliwie najlepszych widm nie wystarcza już pryzmat, gdyż potrzebna jest znacznie

większa dokładność. Używa się więc przyrządu zwanego spektroskopem, który zawiera oprócz pryzmatu szereg innych urządzeń pozwalających osiągnąć dużą dokładność. Widmo wytwarzane przez spektroskop posiada dużo linii, zwanych liniami widmowymi, rozrzuconych w różnych barwach widma. Sommerfeld wykazał, że jeśli tor elektronu wokół jądra jest elipsą, to linie te składać się będą z pewnej ilości pojedynczych linii. Natomiast dla orbity w kształcie rozety te pojedyncze linie powinny być rozszczepione tak: - w miejscach linii pojedynczych powinno pojawić się więcej linii – zależnie od rodzaju substancji. Widzimy więc, że sprawdzenie zjawiska wzrostu masy w atomie sprowadzało się do badania typu linii występujących w widmie. Jeśli linie widmowe są pojedyncze, to tor elektronu jest elipsą i masa elektronu nie zmienia się podczas jego obiegu wokół jądra. Jeśli jednak linie widmowe są rozszczepione na dwie lub więcej, to oznacza, że tor elektronu jest rozetą powstałą w wyniku zmieniania się masy elektronu; w takim przypadku efekt wzrostu masy przewidziany przez szczególną teorię zostałby potwierdzony doświadczalnie. Rozszczepienie linii widmowych pierwszy zaobserwował Friedrich Paschen w roku 1916 podczas badań widma helu. W miesiąc po opublikowaniu jego odkrycia, Sommerfeld ogłosił teorię, która przewidywała rozszczepienie linii widmowych. Znow więc efekt wzrostu masy w/g szczególnej teorii został potwierdzony. Akceleratory atomowe – olbrzymie reaktory zbudowane do badania struktur jąder atomowych dostarczyły dalszych przykładów wzrostu masy wraz ze wzrostem prędkości. Zasadniczym celem tych urządzeń jest przyśpieszenie różnych cząstek do bardzo wysokich prędkości; im akcelerator jest potężniejszy, tym większe prędkości, im wyższe prędkości tym większa staje się masa cząstek. Na początku 1952 r. Państwowe Laboratorium w Brookhaven ogłosiło, że udało się przyśpieszyć protony prawie do 285 000 km/s czyli ok. 0,95 prędkości światła. W czerwcu zaś Kalifornijski Instytut Technologii ogłosił, że w nim elektrony, których masa wynosi ok. 0,0005 masy protonu, do prędkości różniące się od prędkości światła o ok. 0,1 km/s, czyli w przybliżeniu do 0,99999999c! odpowiadał temu około 900krotny wzrost masy pierwotnej! Energia akceleratorów atomowych w różnych krajach jest zwiększana i w wyniku tego cząstki używane jako pociski w badaniach fizyki jądrowej, gdy prędkości ich będą się zbliżać do prędkości światła, będą miały coraz większe masy

efektywne.

### *Dodawanie prędkości*

*Doświadczenie Fizeau.* W poprzednim rozdziale dowiedzieliśmy się, że szczególna teoria przewiduje, iż jeśli dwie rakiety A i B poruszają się względem siebie, to obserwator jednej z nich może określić względną prędkość drugiej według równania:

Na górze piszemy  $u$

pod piszemy duże  $AB =$  kreska ułamekowa ; nad nią piszemy

$U_a + U_b$  pod nią piszemy

$1 +$  tu piszemy drugą kreskę ułamekową

nad nią piszemy  $U_a U_b$  a pod nią  $C$  do potęgi 2

Sprawdziliśmy, że ta względna prędkość jest mniejsza niż sama prędkość A i B. Widzieliśmy również, że Fresnelowska teoria porywania eteru także przewidywała, iż całkowita prędkość będzie mniejsza niż suma dwóch składowych. Fresnel rozumował, że przedmioty poruszające się w stacjonarnym eterze porywają część eteru za sobą i to powoduje obniżenie się prędkości wypadkowej.

Gdyby wzór Fresnela zastosować do rakiet w przestrzeni

kosmicznej, to ich względna prędkość podana byłaby równaniem:

obok  $u$  piszemy  $AB = U_A + U_B$  tu otwieramy nawias i piszemy

$1 -$  tu stawiamy kreskę ułamekową

nad nią piszemy  $U_A$  do potęgi 2

a pod nią piszemy  $C$  do potęgi 2 i tu zamykamy nawias ,

gdzie wyrażenie w nawiasie jest Fresnelowskim współczynnikiem porywania.

Równanie poniższe różni się od powyższego. Co więcej ,

doświadczenie Fizeau wykazało, że wzór Fresnela jest słuszny. W

czym więc tkwi sprzeczność? Czyż mamy uważać, że równanie

wyższe, będące wynikiem szczególnej teorii, jest niesłuszne, a

równanie niższe, wyprowadzone na podstawie teorii porywania

hipotetycznego eteru jest słuszne? Odpowiedź brzmi: równanie

niższe jest w rzeczywistości przybliżonym przypadkiem równania

wyższego, to znaczy wychodząc z równania wyższego można z za

pomocą matematycznych operacji uwzględniających pewne

przybliżenia otrzymać poniższe równanie. Relatywistycznie

równanie powyższe jest więc również słuszne i dokładnie przewiduje

wyniki doświadczenia Fizeau. Doświadczenie to zatem stanowi

dowód relatywistycznego równania na dodawanie prędkości. Co

więcej, równanie relatywistyczne nie zakłada istnienia eteru i nie

*ma żadnego związku z jakimkolwiek efektem porywania. Zdajemy sobie teraz sprawę z tego, że Fresnelowski efekt porywania był zupełnie sztucznym założeniem i tylko całkiem przypadkowo zgodnym z wynikami Fizeau.*

*Doświadczenie Fizeau w zmienionej formie zostało powtórzone przez Gregora Biddella Airy'ego w roku 1872, a następnie przez Michelsona. Ich wyniki są również zgodne z równaniem na dodawanie prędkości przewidzianym przez szczególną teorię. Równoważność masy i energii*

*Doświadczenie Cockrofta i Waltona.*

*Ponieważ ze stosunkowo niewielkiej ilości materii powinna powstać stosunkowo olbrzymia energia, toteż początkowo nie pokładano wielkiej nadziei w sprawdzeniu możliwości przemiany masy w energię na wielką skalę. Uczni skoncentrowali więc swoje wysiłki na sprawdzeniu równania 5 w skali – jądrowej. Do modelu atomu, podanego przez Bohra w 1913r. wprowadzano coraz więcej poprawek, tak, że pod koniec lat dwudziestych mieliśmy już dokładny obraz tego jak wygląda atom. Wówczas główna uwaga skupiła się na jądrze atomowym. Wiemy, że jest ono zbudowane z protonów i neutronów. Jedno i drugie są małymi cząstkami, mającymi masę 0,000 000 000 000 000 000 000 001 grama; protony posiadają ładunek dodatni, neutrony nie posiadają ładunku. Im lżejszy jest pierwiastek chemiczny, tym z mniejszej liczby protonów i neutronów składa się jądro, i odwrotnie. Na przykład jądro najlżejszego z pierwiastków – wodoru składa się po prostu z jednego protonu, natomiast jądro uranu, jednego z najcięższych pierwiastków, zawiera 92 protony i 146 neutronów.*

*Ważną cechą jąder, poznaną już dość wcześnie, jest to, że tworzące je protony i neutrony bardzo ściśle są ze sobą spojone. Wiemy, że normalnie dwa lub więcej dodatnich ładunków będą się odpychały – szczególnie gdy znajdują się one tak blisko siebie, jak w przypadku protonów w jądrze. Nie rozlatują się one jednak, było więc oczywiste, że trzymające je tam siły jądrowe muszą być znacznie silniejsze od sił odpychania. Cząstki zatem w jądrze są związane, czyli trzymane razem przez tak zwaną energię wiązania. Co więcej, gdyby jądro można było rozbić na mniejsze kawałki (lub gdyby można doprowadzić do połączenia się jego w pewnych warunkach z innym jądrem), to energia wiązania uciekłaby - zostałaby wyzwolona.*

*Nie oczekiwano, że wyzwolona energia wiązania pojawi się po prostu z powietrza ; jednym bowiem z niewzruszonych praw fizyki jest prawo zachowania energii: energia nie może ani powstawać, ani ginąć, lecz może jedynie przechodzić z jednej formy w inną. Skąd więc ta energia pochodzi? Co jej dostarcza? Odpowiedź na to daje nam wzór na równoważność masy i energii wyprowadzony w szczególnej teorii:*

$$E=MC^2$$

*który mówi, że energia wiązania wyzwolona w jądrze podczas rozpadu dostarczana jest przez część masy jądra.*

*Jeśli jądro ma pewną masę przed rozpadem, a w czasie rozpadu wyzwala się energia, to całkowita masa poszczególnych cząstek z rozpadu musi być mniejsza od masy początkowej; stracona masa zamieniła się w energię. Gdyby całkowita masa poszczególnych cząstek była równa początkowej masie jądra, wówczas wyzwolona energia pojawiłaby się , tak, jakby nagle została stworzona z niczego, pogwałcone by więc było prawo zachowania energii. Ważną jest rzeczą zdać sobie też sprawę z faktu, że w znanych nam dziś procesach jądrowych nigdy nie możemy zamienić całej masy w energię, lecz tylko jej bardzo małą część – część, która odpowiada energii wiązania jądra.*

*Aby sprawdzić powyższą hipotezę, która potwierdziłby równoważność masy i energii, trzeba było wyznaczyć dokładnie masę jakiegoś szczególnego jądra, następnie rozbić je i określić energię wiązania oraz masy poszczególnych części. Pierwsze takie właśnie udane doświadczenie wykonali John Douglas Cockroft (ur 1897) i Ernest Thomas Walton (ur 1903) w Anglii w roku 1932. Bombardowali oni jądra litu protonami; przy wynikłym stąd zderzeniu jądro rozpadło się na dwie części. Wyzwolili się przy tym znaczna ilość energii i, gdy porównano całkowitą masę obu części z masą jądra przed rozpadem, okazało się, że jest ona mniejsza – właśnie tak, jak przewidywano. Cockroft i Walton zmierzili też energię wyzwoloną w czasie reakcji; okazała się ona równa energii wyliczonej na podstawie powyższego równania, do którego podstawiono różnicę mas przed i po reakcji. Tak więc równoważność masy i energii udowodniono doświadczalnie w 27 lat po tym, jak Einstein przewidział ją w szczególnej teorii.*

.....  
*Bomby atomowe i wodorowe. Po doświadczeniu wyżej już -*

wymienionych uczonych - przeprowadzono jeszcze wiele innych doświadczeń potwierdzających równoważność masy i energii. Punktami kulminacyjnymi były wstrząsające światem wybuchy pierwszej bomby atomowej w Alamogordo w Nowym Meksyku 16 07 1945 i pierwszej bomby wodorowej na wyspach Marshalla na Pacyfiku 1 -11 1952. Działanie ich obu opierało się na podanej wyżej teorii, jednak istnieje zasadnicza różnica między procesami jądrowymi zachodzącymi w nich. Wyzwolona energia jest dodatnia dla wszystkich pierwiastków cięższych od srebra (c. atomowy 108), czyli jeśli któreś z tych cięższych jąder rozpada się lub zostaje rozbite to wyzwala się energia. To zjawisko wyzwolenia energii przy rozpadzie jądra nazywa się rozszczepieniem. Ponieważ energia zostaje wyzwolona kosztem części masy jądra, to całkowita masa części po rozpadzie jest zawsze mniejsza niż początkowa masa jądra. Jeśli położymy więc na jednej szalce wagi jedno pojedyncze jądro, a na drugiej wszystkie fragmenty po rozpadzie to masa nierozszczepionego jądra jest większa od rozszczepionego. W bombach atomowych wykorzystuje się właśnie proces rozszczepienia jader uranu lub plutonu. Dla pierwiastków, których ciężar atomowy jest mniejszy od srebra wyzwolona energia wiązania jest ujemna czyli nie jest wyzwolana ale absorbowana. Aby rozbić takie jądro musi się mu dostarczyć energii liczbowo równa ujemnej energii wiązania i żadna energia nie wyzwoli się w czasie procesu. Energie z lżejszych pierwiastków uzyskamy prowadząc proces w odwrotnym kierunku. Zamiast powodować absorbowanie przez jądra energii przy rozbijaniu, możemy łączyć takie lekkie jądra w jedno cięższe z jednoczesnym wydzielaniem energii wiązania. Nazywamy to syntezą, podczas której wydzielana się energia, musi więc odbywać się to kosztem części jader - stąd masa powstałego jądra będzie mniejsza niż całkowita masa jader wyjściowych. Jeśli więc położymy pierwotne jądra na jednej z szalek naszej wagi, a powstałe połączone jądro na drugiej, to jego masa będzie teraz mniejsza od masy jego części składowych. W bombie wodorowej wykorzystuje się proces syntezy; jądra wodoru łączą się tam w jądra cięższych pierwiastków.

*Wytwarzanie energii na Słońcu i gwiazdach.*

*Inny uderzający przykład zamiany masy w energię mamy na Słońcu, długo było zagadką dla uczonych; skąd bierze się energia. Początkowo sadzono, że Słońce zbudowane jest z węgla (lub innej*

podobnej substancji), która spala się całkiem norm zwyczajnie wydzielając ciepło, tak właśnie, jak dzieje się to na Ziemi. Z łatwością jednak wykazano, że jest to niemożliwe; Słońce, którego masę wszak znamy, spaliłoby się zupełnie w ten sposób w ciągu 200 – 300 –tu lat, a wiemy przecież, że świeci ono znacznie dłużej.

Zachodzące tu w rzeczywistości zjawisko pozostawało zagadką, dopóki uczeni nie odkryli procesów jądrowych wraz ze związanymi z nimi szybkościami reakcji, wyzwalaną energią itd. Tak więc dopiero w roku 1938 Hans Albert Bethe` (ur. 1906) i Carl Friedrich Weizsacker (ur. 1912), jeden niezależnie od drugiego napisali prawidłowe równania dla procesów jądrowych, które dały się tu zastosować. W szczególności odkryli oni, że zachodzi synteza tworząca łańcuchową reakcję jądrową, w której 4-y jądra wodoru (4-y protony) łączą się w 1-o jądro helu (2-wa protony + 2-wa elektrony). A ponieważ masa jądra helu jest o około 0,7% mniejsza od sumy czterech jąder wodoru, więc ta różnica masy zmienia się w energię. Bethe i Weizsaker wyliczyli, posługując się równaniem 5, ilość wyzwalanej energii na jednostkę czasu dla całej masy Słońca i porównali ten wynik z doświadczalnie zmierzoną ilością promieniowania, które otrzymujemy ze Słońca . Okazało się, że wyniki pomiarów i teorii są idealnie zgodne ze sobą i w ten sposób raz jeszcze potwierdzona została równoważność masy i energii. Ponieważ energia powstaje na Słońcu kosztem jego masy, więc Słońce stale, aczkolwiek, powoli „zjada się”. Przy istniejącej szybkości zużycia wodoru Słońce zużywa ok. 1 % swej masy w ciągu 1-go miliarda lat ; będzie więc ono świecić jeszcze przez wiele lat. Najlepsze oceny mówią, biorąc pod uwagę jeszcze inne czynniki, że Słońce umrze i zniknie za 15 – 30 miliardów lat. Nie ma chyba potrzeby zaznaczać, że podobne zjawiska powodują wysyłanie światła również przez inne gwiazdy. Każda z gwiazd zużyje się zatem kiedyś i zniknie, a całkowity czas jej życia zależy od jej początkowych rozmiarów i poszczególnych zachodzących w niej procesów.

Zjawiska syntezy zachodzące w gwiazdach porównywano z bombą wodorową . Prawdą jest, że obu przypadkach zachodzi synteza: różnica wszakże polega na tym, że w gwiazdach procesy te trwają około 1-go miliarda lat, natomiast w bombie wodorowej – około jednej milionowej części sekundy.

*Era atomowa. Choć pierwsze zastosowanie wzoru na równoważność masy i energii w postaci bomby atomowej wstrząsnęło światem, był to jednak dopiero początek, tego co zwiemy erą atomową. Od owego czasu wiele wie myśli i badań poświęcono pokojowemu wykorzystaniu energii jądrowej, coraz więcej jej zastosowań wpływa w różnorodny sposób na rozwój nauki w wielu krajach. W większości zastosowań obecnie korzysta się ze zjawiska rozszczepienia – zachodzącego jednak dużo wolniej niż w bombie atomowej. Wśród wielu innych zastosowań wspomnieć tu warto o reaktorach atomowych, gdzie energia wyzwalamy w procesach jądrowych zamienia się w ciepło. Ciepło to jest następnie gromadzone w odpowiednich przyrządach i używane do wytwarzania elektryczności, poruszania łodzi podwodnych itp. Wielkie znaczenie ma też wytwarzanie promieniotwórczych izotopów w różnych akceleratorach atomowych całego świata. Izotopy te mają rozległe zastosowanie w medycynie, rolnictwie i przemyśle. W medycynie np. dzięki promieniotwórczości mogą być użyte jako wskaźnik przy badaniu procesów trawiennych, krążenia krwi itp. Era atomowa dopiero się zaczęła. Nikt nie jest dziś w stanie wyobrazić sobie tych wszystkich niezwykłych o porównawczych odkryć i wynalazków, jakie jeszcze zostaną dokonane dzięki wyprowadzonemu w szczególnej teorii względności związkowi na równoważność masy i energii.*

### *Czas*

*Doświadczenie Ivesa. W poprzednim rozdziale wdzieliśmy, że szczególna teoria przewiduje, iż jeśli dwaj obserwatorzy poruszają się względem siebie, to każdy z nich zaobserwuje, że procesy czasowe w układzie drugiego drugiego z nich są zwolnione – jest to tak zwany efekt dylatacji czasu.*

*Praktycznie była to jedna z najtrudniejszych rzeczy do sprawdzenia doświadczalnie, gdyż aby efekt był dostatecznie duży i dzięki temu wykrywalny, obaj obserwatorzy muszą mieć względną prędkość porównywalną z prędkością światła.*

*Przed wszystkim trzeba było mieć w tym celu układ poruszający się z bardzo wielką prędkością względem obserwatora. Ives osiągnął to, przyspieszając do wielkich prędkości atomy wodoru wewnątrz rury szklanej za pomocą pola elektrycznego. Udało mu się przyspieszyć atomy do prędkości około 1800 km/s, czyli do*



około 0,006 prędkości światła. Choć jest to dość mało w porównaniu z prędkością światła, to jednak wystarczyło do wykrycia poszukiwanego efektu, o ile on w ogóle istniał. Problem określenia „jak prędko idzie zegar”, związany z atomami wodoru, nie był tak trudny, jak by to się mogło wydawać, chociaż bezwzględnie konieczna była bardzo duża dokładność. Ives użył jako procesu czasowego – rytmu drgań elektronów atomie wodoru. Możemy mierzyć ten rytm drgań, lub raczej czas jednego drgania dla atomów wodoru raz, gdy nie poruszają się one, czyli są w spoczynku względem obserwatora. Jeśli wzór na dylatację czasu jest prawdziwy, to w drugim przypadku czas jednego drgania będzie dłuższy niż w pierwszym, co odpowiada zwolnieniu drgań; byłaby więc to weryfikacja efektu dylatacji czasu. By zobaczyć, jak te czasy zmierzyć, zrobimy małą dygresję. Zastanówmy się, co zachodzi, gdy drga silnie napięty drut – taki jak struna w fortepianie. Gdy uderzamy w klawisz, to struna lub struny odpowiadające tej nucie zaczną drgać w pewnym charakterystycznym dla nich rytmie, którym mówimy, że jest wysokością lub częstością nuty. Jeśli zaś uderzymy w klawisz położony niżej, to usłyszymy dźwięk o niższej częstości, gdyż ta struna drga wolniej. Rozpatrując czas jednego drgania w obu przypadkach widzimy, że jest on dłuższy dla nuty o niższej częstości, gdyż ta struna drga wolniej. Przeto zmniejszona częstość odpowiada zwiększonemu czyli dłuższemu czasowi drgania. Drgający atom podobny jest do drgającej struny. Każda struna drga z częstością zależną od jej długości, napięcia itd., i częstość ta nie zmienia się, o ile nie zmieni się długość, napięcie itd. Podobnie każdy atom drga ze swoją charakterystyczną częstością, która nie powinna się zmieniać. Jeśli jednak się zmienia, oznacza to, że procesy czasowe w atomie się zmieniły. W szczególności jeśli częstość się zmniejsza, to jak widzieliśmy, świadczy, że czas w tym atomie płynie wolniej. Ives mierzył częstość drgań atomów wodoru raz gdy znajdowały się one w spoczynku, i ponownie, gdy poruszały się z prędkością 1800 km/s. Stwierdził on, że częstość zmalała, co odpowiada wzrostowi czasu jednego drgania. Co więcej, ten wzrost był ilościowo dokładnie zgodny z tym Cop wynika z równania 6 dla zjawiska dylatacji czasu, gdy podstawimy w nim prędkość atomów wodoru wynoszącą 1800 km/s. W ten sposób zostało dowiedzione, że czas rzeczywiście zwalnia w układzie poruszającym się z prędkością  $v$  względem obserwatora i raz jeszcze potwierdzona została szczególna teoria.

## *Rozdział - 5*

### *Ogólna teoria i jej doświadczalne potwierdzenie*

#### *Zasada równoważności*

*Wkrótce po opublikowaniu w roku 1905 szczególnej teorii Einstein zajął się zjawiskami, które zachodzą wtedy, gdy obserwatorzy poruszają się ze stałymi względnymi prędkościami: (tzn z przyśpieszeniem niezerowym), lecz z prędkościami zmiennymi (tzn z przyśpieszeniem zerowym). Rezultatem jego pracy było powstanie ogólnej teorii względności, opublikowanej w roku 1916. Dotychczas teoria ta została potwierdzona przez trzy różne doświadczenia. Jak przekonamy się dalej, ważną rolę w tej teorii i jej dowodach odgrywa przyciąganie grawitacyjne. Każdy z nas jechał nieraz windą. Mógł wówczas zauważyć, że gdy winda porusza się ruchem przyśpieszonym ku górze, on sam popychany jest w dół, ku podłodze windy. Jeśli pasażer trzyma coś w ręku, to przedmiot ten jest również popychany ku dołowi. Człowiek czuje się cięższy i wszystko, co trzyma, wydaje mu się cięższe. Co więcej, im szybciej winda rusza (im przyśpieszenie jest większe), tym cięższe staje się wszystko. Przeciwnie, gdy winda jedzie ruchem przyśpieszonym w dół, wszystko staje się lżejsze i to tym lżejsze, im większe jest przyśpieszenie ku dołowi. W szczególności, gdyby winda była przyśpieszona ku dołowi tak szybko jak szybko spadające na ziemię przedmioty są przyspieszone ku ziemi ( $981 \text{ cm/s}^2$ ), wówczas przedmioty znajdujące się tam nie posiadałyby żadnego ciężaru; ludzie i przedmioty mogłyby fruwać niczym bańki mydlane. Jeśli zaś winda zjeżdżałaby ku dołowi z jeszcze większym przyśpieszeniem, wówczas wszystko, co się w niej znajduje, byłoby przyciskane do sufitu. (Pamiętamy, że we wszystkich tych przypadkach winda porusza się ruchem przyśpieszonym, czyli jej prędkość jest zmienna. Kiedy winda przestaje mieć przyśpieszenie i porusza się ze stałą prędkością w górę lub w dół, nie zajdzie żadne z tych zjawisk).*

*Chociaż pasażerowie windy mogą początkowo być zaskoczeni tym co się dzieje, nie są oni zupełnie nieświadomi przyczyn swej niewygody. Wiedzą bowiem, że siła przyciągania ziemskiego ma coś wspólnego z dziwnymi efektami doświadczanymi przez nich. Przypuśćmy teraz jednak, że ci sami ludzie znajdują się w rakiecie lecącej w przestrzeni międzygwiazdnej, powiedzmy na wycieczkę „gwiazdoznawczą”. Nie mają oni żadnego ciężaru,*

*ponieważ ciężar jest siłą, z jaką duża masa (w naszym przypadku Ziemia) przyciąga przedmiot, a oni są poza sferą przyciągania, czyli grawitacyjnego pola Ziemi. Muszą więc oni być w jakiś sposób umocowani by nie fruwać swobodnie wokół.*

*Gdy rakieta jest przyspieszana ku przodowi w stosunku do odległych gwiazd, pasażerowie są odpychani ku tylnym oparciom swych foteli, a gdy rakieta zwalnia – są popychani wprzód dokładnie w ten sam sposób, jak ludzie w dowolnym środku lokomocji na Ziemi, gdy przyśpiesza on lub zwalnia. Przeto ludzie w rakiecie będą automatycznie kojarzyć odpychanie do tyłu z przyspieszeniem rakiety, a popychanie - do przodu z jej zwalnianiem. Jeśli rakieta nie jest ani przyspieszana, ani opóźniana, nie odczuwają oni żadnych efektów. Przypuśćmy teraz, że podczas ich podróży w przestrzeni, odbywającej się ze stałą prędkością względem odległych gwiazd, przechodzi tuż obok zablakana planeta. Nikt w rakiecie jej nie zauważa, ona zaś ledwo, ledwo mija tył rakiety. Jeśli założymy, że silniki i przyrządy kontrolujące ruch rakiety utrzymują jej prędkość stałą względem dalekich gwiazd, to powstaje pytanie, co odczuwają pasażerowie. Mając planetę w swym sąsiedztwie nabierają oni z powrotem ciężaru i odczują to jako przyciąganie ku przechodzącej planecie, tj. odpychanie ku oparciom foteli. Ponieważ jednak nie wiedza o obecności planety a efekt jest taki sam jak przy przyspieszeniu rakiety, mogą błędnie wnioskować, że właśnie ten ostatni przypadek ma miejsce i nie będą dalej się tym zajmować.*

*Szerszy jest już problem, czy istnieje jakaś możliwość stwierdzenia przez pasażerów rakiety (bez wyglądania na zewnątrz), czy siły przez nich odczuwane spowodowane są przez przyspieszenie rakiety, czy też przez przyciąganie grawitacyjne ciała przechodzącego obok. Odpowiedź brzmi: nie ma sposobu rozróżnienia tych dwóch zjawisk. Uderzony tą równoważnością przyspieszenia i sił grawitacyjnych Einstein wyraził to w tzw zasadzie równoważności: w danym punkcie przestrzeni efekty grawitacji i ruchu przyspieszonego są równoważne i nie mogą być rozróżnione.*

*Wracając do naszej windy, zastanówmy się, czy zwiększony ciężar pasażerów spowodowany przyspieszeniem windy nie mógłby być również spowodowany dodatkowymi siłami grawitacyjnymi. Z pewnością mógłby. Przypuśćmy, że winda i jej pasażerowie zostali nagle, bez swej wiedzy, przeniesieni na Jowisza. Czuli by się oni*

ciężsi, gdyż Jowisz ma masę przeszło 30 x większą od masy Ziemi i dlatego też przyciąga on silniej przedmioty na swej powierzchni, powodując, że ważą one 2.1/2 raza więcej niż na Ziemi. Przeto człowiek, ważący na Ziemi 90kg, na Jowiszu ważyłby 225kg i w rezultacie upadłby prawdopodobnie na podłogę. Co więcej, przypisywałby on swój zwiększony ciężar przyśpieszeniu windy ku górze, nie wiedząc o tym, że spowodowała to zwiększona masa grawitacyjna. Albo, gdyby winda została przeniesiona na Merkurego, który ma masę równą 1/25 masy Ziemi, wszystko ważyłoby tylko 1/3 i ten sam człowiek ważyłby tylko 30kg. I on i inni tłumaczyliby swą zmniejszoną wagę przyśpieszeniem windy ku dołowi. Znow widzimy, że objawy ruchu przyspieszonego i grawitacji są te same.

Mogłoby się wydawać, że zasada równoważności jest prostym, dość pospolitym spostrzeżeniem. Jednak takie wrażenie mógłby odnieść tylko ten, kto nie zna zdobyczy nauk ścisłych; dopiero jednak Einstein pierwszy zwrócił na nią uwagę. Gdyby zasada ta nie miała dalszych konsekwencji, uznano by ją za interesującą i szybko zapomniano. Przyjmując zasadę równoważności za podstawowy postulat ogólnej teorii Einstein zastosował gałąź matematyki, uprzednio rozwinięta przez Bernharda Riemana i innych, to jest rachunek tensorowy, i doszedł do trzech ważnych wniosków. Wszystkie trzy sprawdzono doświadczalnie. O nich właśnie powiemy teraz szczegółowo.

*Newtonowskie prawo powszechnego ciążenia i teoria grawitacji Einsteina – obrót orbity Merkurego.*

Grawitacja była zagadnieniem, które od wielu lat intrygowało ludzi ze względu na przedziwny sposób jej oddziaływania. Swobodne spadające ciało zawsze spada na ziemię. Jak wszakże jest to możliwe, aby Ziemia przyciągała ciało ku sobie. Nie sięgając po nie i nie chwytając go? Powietrze tu nie pomaga, gdyż przedmioty są przyciągane ku Ziemi nawet wtedy gdy znajdują się w próżni. Drugą zagadką było dziwne działanie, jakie Słońce wywiera na planety, utrzymując je w stałym ruchu wokół siebie. Kepler po szeregu obserwacji wyprowadził wniosek, że drogi, po których poruszają się planety, są elipsami. Zadowolającą odpowiedź na oba te pytania dał Newton w roku 1687, ogłaszając prawo znane dziś jako prawo powszechnego ciążenia Newtona. Głosi ono, że każde

52

*ciało we Wszechświecie przyciąga każde inne ciało z siłą grawitacyjną, którą podaje równanie:*

$$F = G (mm'/d)$$

*mm' - w liczniku; d do potęgi drugiej w mianowniku  
gdzie m jest masą jednego ciała*

*m' masą drugiego ciała*

*d odległością między nimi*

*G stała uniwersalna, zwaną siłą grawitacyjną.*

*Gdy ciało spada swobodnie, wówczas siłę, z jaką Ziemia przyciąga to ciało otrzymujemy z równania powyższego podstawiając za m – masę ciała, zaś za m' - masę Ziemi. Słońce przyciąga planety z siłą podaną w tym wzorze, gdzie zamiast m jest masa Słońca, zamiast m' zaś masa planety. Równanie Newtona powstało jedynie jako wynik obserwacji. Obserwował on spadające przedmioty oraz ruchy planet wokół Słońca i wypisał takie równanie, które najlepiej opisuje istniejące zjawiska, otrzymując w ten sposób to, co zwiemy równaniem empirycznym. Mając już równanie na siłę przyciągania się dwóch mas, wyprowadził on równania na drogi planet wokół Słońca. W wyniku otrzymania, że drogi te są elipsami, nieruchomymi względem Słońca. Planety poruszają się w przestrzeni wciąż po tych samych torach eliptycznych. Ponieważ wieloletnie obserwacje potwierdzały to, więc Newtonowskie prawo powszechnego ciężenia zostało okrzyknięte za ogromne osiągnięcie, jakim też niewątpliwie było.*

*Rozwijając ogólną teorię Einstein skoncentrował swą uwagę na teorii grawitacji, dlatego też ogólną teorię nazywa się niekiedy Einsteinowską teorią grawitacji. Na podstawie tej teorii Einstein również wyznaczył równania torów planet w ich ruchu wokół Słońca. Wynik końcowy był w przybliżeniu ten sam, co Newtona, z jedną niewielką różnicą. Tory jakie otrzymał Einstein, są również elipsami, ale elipsy te nie są nieruchome, lecz powoli obracają się w przestrzeni.*

*Obrót ten jest tak niewielki, że dla większości planet jest on praktycznie niemożliwy do wykrycia. Np. orbita ziemską obraca się w ciągu stulecia o 3,8 sekundy. Jeśli przypomnimy sobie, że kąt prosty ma 324 000 sekund, to łatwo uświadomimy sobie, jak małą wielkością jest 3,8 sekundy - około jednej stutysięcznej kąta prostego. A ziemską orbitę potrzebuje aż stu lat, by o tyle się obrócić! Przy takiej prędkości trzeba by około 34 mln lat, aby oś ziemską wykonała jeden pełny obrót!*

*Ściślej mówiąc, ponieważ eliptyczne orbity planet obracają się, więc w rzeczywistości są one rozetami podobnymi do torów elektronów wokół jądra, jak w teorii Sommerfelda. Wobec tego, jednak, że prędkość tego obrotu jest tak mała, trzeba by bardzo długiego czasu na zakreślenie przez planetę pełnej rozety. Mówimy więc o orbitach planet raczej jako o obracających się elipsach, niż jako o rozetach. Oczywiście, ponieważ Einsteińska teoria grawitacji daje inne wyniki, niż Newtonowski prawo powszechnego ciężenia, wyniki więc jednej z nich różnią się, aczkolwiek nieznacznie, od prawdziwych. Jak zobaczymy, teoria Einsteina jest prawidłowa. Zanim jednak do tego dojdziemy, chcemy rozważyć, czym one się różnią pod względem matematycznym. Jeśli zmodyfikujemy Newtonowskie prawo powszechnego ciężenia, tak, aby orbity planet były elipsami wolno obracającymi się, a nie nieruchomymi, to przybierze ono następującą postać:*

$$F = G(Mm) \left( \frac{1}{d^2} + \frac{1}{200000000} \right)$$

*Która tylko nieznacznie różni się od prawa Newtona.*

*Prawo Newtona jest więc prawdziwe w bardzo dużym przybliżeniu, dlatego przez tak wiele lat dawało ono tak dobre wyniki. Dla doświadczalnego potwierdzenia ogólnej teorii względności (Einsteińskiej teorii grawitacji) należało znaleźć planetę, której orbita obraca się o jak największy kąt w danym okresie czasu. Teoria mówi, że obrót ten będzie największy dla planety poruszającej się z dużą prędkością orbitalną. Koniecznie też należało posłużyć się planetą, której orbita jest jak najbardziej eliptyczna, gdyż orbity niektórych planet (na przykład Ziemi) są tak bardzo zbliżone do koła, że trudno powiedzieć, czy obróciły się one, czy nie. Maja c zaś orbitę silnie spłaszczoną, czyli bardzo eliptyczną, łatwo zauważyć, jaki kierunek wskazuje jej duża półoś, toteż obrót może być tu wykryty. Merkury (planeta najbliższa Słońca) ma jedną z najbardziej płaskich orbit i największych prędkości orbitalnych. Od wielu lat obserwowano dziwne i zagadkowe zachowanie się orbity tej planety. Nie umiano w żaden sposób wytłumaczyć, dlaczego obraca się ona o 43 sekundy w ciągu stulecia (wprawdzie całkowity obrót orbity Merkurego wynosi około 574 sekund na stulecie, lecz wiadomo, że z tego 531 sekund było spowodowane oddziaływaniem grawitacyjnym innych planet). W r. 1845 francuski astronom Urbain Jean Leverrier (1811-77) wykazał, że ten dodatkowy mógł powstać, gdyby na Merkurego oddziaływała jakaś planeta znajdująca się między nim a Słońcem.*

*Zaczęto gorliwie poszukiwać takiej planety, ale nigdy jej nie znaleziono. (Istnienie planety Neptun zostało również przepowiedziane przez tego astronoma jako wynik zmian orbity Uranu; potem dopiero została ona odkryta. A Plutona – planetę najdalszą od Słoń – odkryto w r. 1930 w wyniku pozostałych jeszcze odchyleń w orbicie Uranu).*

*Przyczyna obrotu orbity Merkurego pozostała nieznana aż do powstania ogólnej teorii względności. Gdy, postępując się ogólną teorią, obliczono, o ile powinna się obrócić orbita Merkurego w ciągu stulecia, otrzymano jako wynik 43 sekundy – wynoszące dokładnie wielkość obrotu, którego uprzednio nie umiano wytłumaczyć. Było to pierwsze potwierdzenie ogólnej teorii. Należy podkreślić, że ten właśnie dowód jest szczególnie przekonujący, może najbardziej spośród trzech znanych do tej pory, gdyż efekt jest tu stosunkowo duży w porównaniu z dwoma, o których będzie mowa dalej.*

*Omawiając teorię Sommerfelda orbit atomowych przekonaliśmy się, że obrót orbit jest spowodowany przez zmianę masy elektronu tak jak to przewiduje szczególna teoria. Można by więc zastanowić się, czy zjawisko obrotu orbity Merkurego nie jest spowodowane tym samym efektem. Ponieważ Merkury porusza się po orbicie eliptycznej, więc jego prędkość orbitalna zmienia się, powodując zmianę masy, co z kolei wywołać winno obrót elipsy. Można jednakże matematycznie wykazać, że ten obrót, przewidywany przez szczególną teorię, wynosiłby tylko 1/6 obrotu otrzymanego z ogólnej teorii. W tym więc przypadku dawałoby to obrót tylko o 7 sekund, podczas gdy, jak wiadomo, orbita Merkurego obraca się o 43 sekundy. Dopiero zatem ogólna teoria tłumaczy w zadowalający sposób zjawisko obrotu.*

*Wpływ masy grawitacyjnej na wiązkę światła -*

*Ważenie wiązki światła*

*Einstein w związku z ogólną teorią badał również, jak zachowuje się wiązka świetlna pod wpływem pola grawitacyjnego wytworzonego przez ciało o dużej masie. Wyniki jego najlepiej jest odwołać się do przykładu, w którym zakładamy teraz, że rakieta przelatuje koło szeregu gwiazd. Ponieważ w suficie rakiety jest tylko jedno okienko, więc pojedyncza wiązka światła z każdej gwiazdy wejdzie przez okno do rakiety w chwili, gdy rakieta mija tę gwiazdę*

*W przykładzie – nazwijmy go b - widzimy, że gdy rakieta mija rząd gwiazd, przechodzi koło niej z tyłu zabłąkana planeta. Jaki wpływ wywrze to na wiązkę świetlną w rakiecie? Ogólna teoria twierdzi, że pole grawitacyjne wytworzone przez masę planety przyciągnie ku sobie wiązkę światła w ten sam sposób, w jaki czy Ziemia przyciąga ku sobie lecący pocisk lub strzałę. Spowoduje to wygięcie wiązki świetlnej w rakiecie. Nie dziwi nas, że lecący pocisk lub strzala są przyciągane ku ziemi: posiadają one przecież ciężar (nawet będące w locie). Większość ludzi dziwi jednak fakt, że wiązka światła ma też swój ciężar. Nie dziwiło to wszakże ówczesnych uczonych, jedna z teorii światła głosi bowiem, że światło jest zbudowane z malutkich cząstek zwanych fotonami ,które poruszają się z prędkością 300 000 km/s. Uważano, że cząstki te mają masę i rozumowano, że jeśli tak jest, to gdy światło pada na jakąś powierzchnię, cząstki te wywierają ciśnienie, podobne jak krople deszczu padające na dach. Zjawisko takie rzeczywiście obserwowano i nazwano je ciśnieniem promieniowania. Ciśnienie to jest bardzo małe i dla promieni słonecznych na Ziemi wynosi około 1-go grama /m kwadratowy dając wszystkiego 160 ton dla całej powierzchni Ziemi. Na szczęście przyciąganie grawitacyjne Ziemi przez Słońce jest wielokrotnie większe, nie zostajemy więc wypchnięci w przestrzeń przez ciśnienie promieniowania promieni słonecznych.*

*W przykładzie – nazwijmy go a – widzimy, że rakieta porusza się ruchem przyśpieszonym względem dalekich gwiazd. Wpływ tego na wiązkę świetlną wewnątrz rakiety podany jest przez zasadę równoważności, która stwierdza, że efekt jest taki sam, jaki był dla pola grawitacyjnego wytworzonego przez planetę. Tu również wiązka światła wewnątrz rakiety będzie zakrzywiona.*

*Aby sprawdzić słuszność przewidywań ogólnej teorii, że wiązka świetlna zostaje ugięta w polu grawitacyjnym, powinniśmy „zważyć wiązkę świetlną”. Nie można, niestety złapać trochę fotonów i położyć na wadze, jak moglibyśmy uczynić z kulami, gdyż nikomu nie udało się dotychczas skonstruować pułapki na fotony (co więcej), uczeni uważają dziś, że masa spoczynkowa fotonu jest zerowa.*

*A zatem fotony trzeba ważyć w trakcie ich lotu. W teorii nie jest to trudne, gdyż jeśli wiązka światła znajduje się pod wpływem pola grawitacyjnego, jej droga zostanie zakrzywiona a to jest łatwo wykryć, o ile tylko zakrzywienie jest dostatecznie duże.*



*Jeśli zaś wiązka świetlna nie podlega wpływowi pola grawitacyjnego, to jej tor będzie linią prostą, co też można łatwo stwierdzić.*

*Ponieważ wszystkie przedmioty na Ziemi spadają o około 5 m w ciągu pierwszej sekundy spadania (jeśli pominiemy opór powietrza) więc należałoby oczekiwać, że wiązka świetlna rozchodząca się równolegle do powierzchni Ziemi również spadnie o tyleż, czyli ugnie się ku Ziemi, w ciągu pierwszej sekundy. Wiazka świetlna wszakże przebędzie w tym czasie 300 000 km, toteż jest prawie niemożliwe wykryć taki efekt na Ziemi. Istnie jednak w naszym układzie słonecznym masa, której przyciąganie grawitacyjne jest dużo większe niż Ziemi, a co za tym idzie, ugięcie promieni w tym przypadku byłoby znacznie większe. Jest to masa Słońca przeszło 330 000 razy większa od masy Ziemi. Jej średnia gęstość wynosi około jednej czwartej gęstości Ziemi; w rezultacie przyciąganie grawitacyjne na powierzchni Słońca jest około 27 x większe od ziemskiego. Ponieważ odpowiada to mniej więcej dziesięciokrotnemu przyciąganiu Jowisza – największej planety w naszym układzie – więc ugięcie promieni świetlnych na skutek przyciągania grawitacyjnego Słońca będzie większe, niż dla jakiegokolwiek innego ciała w naszym układzie planetarnym. Słońce jest więc najlepszą „wagą” do ważenia wiązki świetlnej. Wiazka świetlna musi oczywiście przychodzić z jakiejś gwiazdy. Np. przedstawmy sobie następujący proces „ważenia” – oto początkowe położenie gwiazdy A, której światło ma być zważone. A dalej wyobraźmy sobie, iż nie ma tu żadnych mas grawitacyjnych wpływających na jego ruch, toteż światło z gwiazdy biegnie do obserwatora na Ziemi wzdłuż linii prostej. Po pewnym czasie Ziemia przebiegła część swej orbity i między nią a gwiazdą znalazło się Słońce w takim dokładnie położeniu, że światło z gwiazdy przechodzi na swej drodze do obserwatora na Ziemi tuż koło powierzchni Słońca.*

*I tu powstaje trudność; bo jeśli światło z gwiazdy przechodzi tuż koło powierzchni Słońca, to obserwator nie będzie mógł zobaczyć gwiazdy, gdyż światło słoneczne jest zbyt silne. Pozostaje więc jako jedyne wyjście obserwować światło gwiazdy przechodzące tuż koło Słońca podczas jego całkowitego zaćmienia, gdy, Księżyc całkowicie je zakrywa. Dlatego też Einstein zaproponował, aby poszukiwać tego zjawiska w czasie całkowitego zaćmienia Słońca. Ugięcie światła gwiazdy, gdy*

przechodzi ono w pobliżu Słońca, jest tak niewielkie że aby je wykryć, konieczna jest bardzo precyzyjna technika fotograficzna. Postępowanie w praktyce składa się z kilku czynności: najpierw należy sfotografować gwiazdę gdy jest ona w położeniu  $a$ , ustalając jej położenie względem sąsiednich gwiazd, a następnie po raz drugi w czasie całkowitego zaćmienia Słońca. W tym drugim przypadku będzie się wydawało obserwatorowi, że gwiazda znajduje się rzekomo w położeniu  $A'$ . Zdjęcie zrobione przy tym położeniu porównujemy ze zrobionym poprzednio. Porównanie to wykaże, że gwiazda pozornie się przesunęła, co dowodzi, że masa Słońca ugięła światło gwiazdy, tak jak to przewiduje ogólna teoria. Einstein obliczył, że ugięcie wiązki świetlnej przechodzącej tuż koło Słońca winno wynosić 1,74 sek. Po roku 1916, kiedy to została opublikowana ogólna teoria, najdogodniejsze całkowite zaćmienie nastąpiło 29 maja 1919 r. Zaćmienie to było szczególnie dogodne, gdyż Ziemia i Słońce corocznie pod koniec maja znajdują się na jednej linii z grupą jasnych gwiazd; było więc podczas tego zaćmienia kilka gwiazd do wyboru. Utworzono dwie brytyjskie ekspedycje astronomiczne. Jedna pod kierunkiem A. C. Crommelina udała się do Sobralu w północnej Brazylii, druga zaś pod kierunkiem A. S. Eddingtona na zachodnioafrykańską Wyspę Księżęcą w Zatoce Gwinejskiej. Obie grupy, sfotografowały pewną liczbę gwiazd, a po powrocie do Anglii zdjęcia wywołano i porównano ze zdjęciami zrobionymi wówczas, gdy Słońce znajdowało się w sąsiedztwie tych samych gwiazd. Grupa sobralaska stwierdziła, że gwiazdy przez nią obserwowane przesunęły się średnio o 1,98 sek., zaś grupa z Wyspy Księżęcej zanotowała przesunięcie się swoich gwiazd o 1,6 sek. Wyniki te były dostatecznie bliskie 1,74 sek przewidzianej przez Einsteina, by potwierdzić istnienie zjawiska ugięcia. Od tego czasu opublikowano ponad dziesięć różnych wyników potwierdzających te teoretyczne obliczenia. Ciekawe są rozważania na temat, jaką masę musiałaby mieć gwiazda, aby jej przyciąganie grawitacyjne było dość silne na to, żeby żadne promienie świetlne nie mogły jej opuścić. Można wykazać, że zjawisko takie zachodziłoby dla gwiazdy o tej samej średnicy co Słońce, gdyby jej masa była ok. 400 000 razy większa od masy Słońca. Jeśli takie gwiazdy istnieją, to nie możemy ich nigdy zobaczyć, bez względu na to, jak blisko znajdują się od nas i jak jasno świecą. Posługując się Newtonowskim prawem powszechnego ciążenia możemy również

*otrzymać wielkość ugięcia promieni świetlnych; wynosi ona wszakże dokładnie połowę wartości podanej przez ogólna teorie względności – pn dla Słońca równa 0,87 sekundy kątowej. Żadne z danych doświadczalnych nie są tego rzędu – wszystkie są większe i w przybliżeniu równe wartości Einsteinowskiej. Ten fakt raz jeszcze podkreśla różnicę, jakkolwiek niewielką między prawem Newtona a teorią Einsteina.*

*Wpływ masy grawitacyjnej na czas – Zwolniony rytm zegarów atomowych na Słońcu i gwiazdach*

*Innym jeszcze osiągnięciem ogólnej teorii jest stwierdzenie wpływu jaki wywiera masa grawitacyjna na czas. Teoria przewiduje, że wszystkie procesy czasowe są wolniejsze w pobliżu dużych mas, niż w pobliżu małych, innymi słowy, że czas płynie wolniej na stosunkowo dużej planecie takiej jak Jowisz, niż na Ziemi. I choć zegar idący z pewną prędkością na Ziemi będzie szedł wolniej na Jowiszu, to jeszcze wolniej będzie on szedł na Słońcu. Einstein obliczył, że jednej sekundzie na Słońcu odpowiada 1,000002 sekundy ziemskiej.*

*Aby zmierzyć tę nieznaczną różnicę, musielibyśmy – biorąc rzecz dosłownie - umieścić na Słońcu zegar zsynchronizowany uprzednio z drugim dokładnie takim samym na Ziemi, a następnie co pewien czas je porównywać. Przy wskazanej przez nas różnicy rytmu zegarów, zegar na Słońcu powinien opóźnić się w stosunku do ziemskiego o 1 sekundę po 500 000 sekund, czyli po prawie 6-u dniach. Nie mamy oczywiście sposobu, by umieścić zegar na Słońcu; nie musimy jednak tego czynić, gdyż jest tam mnóstwo „zegarów atomowych”. Są nimi drgające atomy, które omawialiśmy poprzednio w związku z doświadczeniem Ivesa. To zjawisko przewidziane przez ogólną teorię, może być sprawdzone doświadczalnie tą samą metodą, jaką posługiwał się Ives poszukując efektu dylatacji czasu wynikającego ze szczególnej teorii. Ponieważ światło słoneczne pochodzi od wielu różnych rodzajów drgających atomów, można więc doświadczalnie wyznaczyć częstości tych drgań i stąd wyliczyć czasy jednego drgania. Częstości i odpowiadające im czasy drgań można też zmierzyć dla takich samych atomów na Ziemi. Wiemy z poprzednich rozdziałów, że jeśli częstości drgań atomów na Słońcu są mniejsze niż takich samych atomów na Ziemi, oznacza to, iż czasy drgań wzrosły, czyli inaczej, że czas na Słońcu płynie wolniej.*

*Ponieważ teoria przewiduje, że częstości światła słonecznego powinny zmaleć, więc oczekiwano, że będą one przesunięte ku czerwonemu końcowi widma widzialnego, gdyż częstość barwy czerwonej jest mniejsze od wszystkich innych w widmie. By to szczególnie przesunięcie ku czerwieni odróżnić od innych zjawisk, które również dają przesunięcie ku czerwieni, nazywa się je przesunięciem relatywistycznym lub Einsteinowskim.*

*Einsteinowskiego przesunięcia poszukiwano najpierw na Słońcu. Niestety, było ono tak małe, że znajdowało się zaledwie w granicach błędu, toteż początkowe próby doświadczalne nie potwierdziły zdecydowanie istnienia zjawiska.*

*Następnie do wykrycia przesunięcia posłużono się gwiazdami zwanymi białymi karłami, które są stosunkowo mniejsze od innych gwiazd, ale mają bardzo dużą gęstość. W szczególności gwiazda B Syriusz (towarzysz Syriusza, Wielkiego Psa, który jest gwiazdą potrójną) ma średnicę wynoszącą około 3 % średnicy Słońca, ale gęstość jej jest przeszło 25 000 razy większa od gęstości Słońca.*

*Litr cieczy jądrowej, z której zbudowana jest gwiazda, ważyłby na niej ok. 38 ton. Można więc oczekiwać, że życie na takiej gwiazdzie byłoby wolniejsze; człowiek byłby tam tak przygnieciony swoim własnym ciężarem, że nie mógłby się w ogóle poruszać. Ponieważ przewidywana zmiana częstości dla gwiazdy B Syriusz jest przeszło trzydziestokrotnie większa niż dla Słońca, więc w roku 1925 amerykański astronom Walter Sydney Adams, posłużył się nią dla znalezienia poszukiwanego efektu. Stwierdził on, że przesunięcie ku czerwonemu krańcowi widma wynosi tyle, ile oczekiwano. Stanowi to dowód, że silne pole grawitacyjne zwalnia procesy czasowe, tak jak to przewiduje ogólna teoria.*

## *Rozdział - 6*

### *Teoria względności a kosmologia*

#### *Rodzaje wszechświatów*

*Istota naszego Wszechświata jest fascynującym problemem, który od wielu lat nurtuje ludzką wyobraźnię. Liczne rozważania stworzyły wiele możliwych wszechświatów jako prototypy naszego; w tym wszakże rozdziale ograniczymy się do szczególnego rodzaju wszechświata, który ogólna teoria względności wysunęła jako nasz własny. Ściśle mówiąc, przedmiot ten nazywa się relatywistyczną kosmologią. Przed tym wszakże, nim będziemy mogli omawiać Wszechświat, w którym żyjemy, musimy zbadać*

rozmaite typy wszechświatów, jakie mogłyby istnieć. Dla prostoty będziemy najpierw rozważać możliwe światy jednowymiarowe, potem dwuwymiarowe i tak dalej.

Jako przykład jednowymiarowego świata rozważmy przykładowo - powiedzmy świat A. Załóżmy najpierw, że mamy „jednowymiarowego” owada żyjącego w jednowymiarowym świecie, który jest po prostu odcinkiem linii prostej i nasz owad musi się na tej prostej znajdować. Nie może on poruszać się w bok, ani też w dół lub w górę, lecz tylko w tył i w przód. Ponieważ ruch jego ograniczony jest do odcinka prostej, który ma określoną mierzalną długość, mówimy, że jego świat jest skończony. Ponieważ zaś nie może on poruszać się ciągle w jednym kierunku (zatrzymywany jest bowiem na końcach odcinka, gdzie musi zawrócić), mówimy, że jego świat jest też ograniczony. Tak więc owad na odcinku prostej żyje w jednowymiarowym świecie, który jest skończony i ograniczony.

Jeśli umieścimy teraz naszego owada na okręgu koła, to w dalszym ciągu będzie on mógł poruszać się tylko w tył lub w przód. Może on teraz jednak poruszać się w ten sposób bez końca, nie zatrzymywany nigdzie przez żadną przeszkodę. Jego świat jest więc nieograniczony. Ponieważ wszakże długość okręgu jest mierzalną długością, więc jego świat jest w dalszym ciągu skończony. A zatem owad żyjący na okręgu koła, żyje w jednowymiarowym świecie, który skończony i nieograniczony. Moglibyśmy umieścić owada na linii prostej, która jest nieskończenie długa (lub na okręgu o nieskończonym promieniu) i wówczas jego jednowymiarowy świat byłby nieskończony i nieograniczony.

A teraz następny świat – świat powiedzmy B – przedstawia naszego owada w dwóch dwuwymiarowych światach. Gdy żyje on na powierzchni kwadratu, może poruszać się w dowolnym kierunku: w tył, w przód lub w bok. Nie może on jednak wyskoczyć z tej powierzchni. Ponieważ pole kwadratu jest mierzalne, świat owada jest skończony; a ponieważ nie może on iść wciąż przed siebie, gdyż zatrzymują go brzegi kwadratu, więc jego świat jest ograniczony. Tu zatem jego dwuwymiarowy świat jest skończony i ograniczony.

Jeśli umieścimy teraz owada na powierzchni kuli i nie pozwolimy mu opuszczać tej powierzchni, widzimy, że jego dwuwymiarowy świat jest skończony i nieograniczony. Jeśli zaś umieścimy go na

*będzie nieskończony i nieograniczony.*

*Powinniśmy być wdzięczni losowi ,że żyjemy w dwuwymiarowym świecie. Życie w nim byłoby bardzo płaskie, gdyż wszystko wokół nas byłoby zawsze płaskie, włączając w to nasze głowy, książki i piwo( to ostatnie kupowałyby się w arkuszach, tak jak teraz kupuje się arkusze znaczków pocztowych).A co gorsza – ludzie byłiby jedynie swymi własnymi żyjącymi cieniami. Dużo trudniej jest przedstawić wizualnie przykłady różnych rodzajów światów o większej liczbie wymiarów i musisz tu, Czytelniku, dopomóc swoja wyobraźnią. Trójwymiarowe przykłady, które teraz będziemy omawiać, nie reprezentują naszego Wszechświata ,gdyż jak widzieliśmy- nasz Wszechświat należy uważać za czterowymiarowy(czas jest tu czwartym wymiarem). Przykłady dwóch typów trójwymiarowych światów pokazuje : założmy ,ze owad znajduje się w pustej przestrzeni jako jej jedyny mieszkaniec. Jeśli umieścimy go wewnątrz wydrążonej kulistej lupiny, to jego trójwymiarowy świat będzie skończony, gdyż objętość kuli jest skończona, ograniczony zaś, ponieważ owad nie może poruszać się bez końca wzdłuż linii prostej, gdyż zatrzymają go ściany kulistej lupiny. Teraz jednak, znajdując się w trójwymiarowym świecie, może on poruszać się również w dół i w górę, a nie tylko w przód w tył i w bok .Żeby zbudować hipotetyczny trój wymiarowy świat, który jest skończony i nieograniczony, założmy, że owad nasz żyje wraz z rodziną w przestrzeni, która nie ma żadnych fizycznych granic ani barier. Jeśli dalej założymy, że owady te mają bardzo duże masy , to żaden z nich nie będzie mógł opuścić pozostałych, gdyż przyciąganie grawitacyjne poszczególnego owada przez całą grupę do tego nie dopuści. Co więcej, ponieważ przyciąganie grawitacyjne jest tak silne, więc promienie świetlne nie będą mogły wyjść również ze środowiska owadów .Jeśli więc nawet owad spogląda w przestrzeni poza grupę, to linia jego wzroku zagnie się z powrotem ku grupie, dając zawsze „owady w polu widzenia” i nie może on widzieć nic spoza grupy. „Prosto naprzód” będzie dla każdego owada oznaczało zawsze: ku środkowi grupy. Owady wszakże nie będą uświadamiać sobie istnienia jakiegokolwiek bariery fizycznej; uważać będą, że żyją w świecie, który jest nieograniczony. Ich świat jest skończony, gdyż wielkość grupy jako całości jest skończona, a grupa ta właśnie stanowi ich świat .Trójwymiarowy świat, który jest nieskończony i nieograniczony, mógłby istnieć dla owada, gdybyśmy zostawili go samego by wałęsał się samotnie w*

*nieskończonej przestrzeni bez żadnych mas grawitacyjnych czy innych sił, które by mu przeszkadzały. Lub też, gdyby obecne były i inne owady, ich wszechświat mógłby w dalszym ciągu pozostać nieskończony i nieograniczony w nieskończonej wolnej przestrzeni, gdyby przyciąganie grawitacyjne można było włączyć, tak jak inne rodzaje fizycznych oddziaływań.*

### *Ogólna teoria a nasz Wszechświat*

*Gdy Newton na podstawie swego prawa ciężenia zastanawiał się nad istotą naszego Wszechświata doszedł do wniosku, że Wszechświat składa się ze wszystkich gwiazd i galaktyk zgrupowanych razem w jego centrum oraz kompletnej pustki bez żadnej materii wokół tego centrum; lub innymi słowy, że Wszechświat nasz jest skończoną wyspą na nieskończonym oceanie przestrzeni. Na podstawie tego, co mówiliśmy przedtem, możemy powiedzieć, że według Newtona Wszechświat był skończony i ograniczony.*

*Wielu uczonych nie zgadzało się Newtonowską koncepcją Wszechświata z powodów czysto filozoficznych. Wszechświat taki oznaczałby, że światło i energia wysyłane stale przez gwiazdy rozchodzą się do pustej przestrzeni wokół nich, aby nigdy nie powrócić. Wydawało się nie do pojęcia, aby Wszechświat roztrwaniał w ten sposób zwa energię, żeby z czasem umrzeć. Również intelektualnie niezadawalający był koncept istnienia poza gwiazdami takiej pustej przestrzeni, o której nie wiadomo, czym właściwie jest i co jest poza nią.*

*Na podstawie ogólnej teorii względności Einstein mógł wykazać, że odmalowany przez Newtona Wszechświat jest z powodów matematycznych wielce nieprawdopodobny lub zgoła niemożliwy. W szczególności wykazał on, że w takim Wszechświecie średnia gęstość materii musiałby być zerem. Prawa Newtonowskie opierały się na fakcie, że światło rozchodzi się wzdłuż linii prostych. Ogólna teoria wykazała wszakże, że promienie świetlne są uginane przez masy grawitacyjne. Na podstawie wyników ogólnej teorii i dalszych swych rozważań Einstein doszedł do wniosku, że nasz Wszechświat jest skończony i nieograniczony.*

*Wszechświat nasz jest analogiczny do powierzchni kuli w dwu wymiarach, która jest skończona nieograniczona. Jeśli poruszamy się wzdłuż linii prostej po powierzchni kuli (niech to będzie np. powierzchnia Ziemi), to po pewnym czasie wrócimy do punktu*

wyjścia, chociaż nie zawracaliśmy nigdzie świadomie w czasie naszej podróży. Linia prosta na Ziemi jest linią, która biegnie po jej powierzchni. Wiemy, że powierzchnia Ziemi jest kulista, nie możemy tego jednak tak łatwo wykryć tylko za pomocą wzroku, gdyż krzywizna jest stosunkowo niewielka.

W przestrzeni linię prostą określa droga, wzdłuż której rozchodzi się wiązka świetlna. Gdy biegnie ona daleko od jakichkolwiek mas grawitacyjnych, to masy te nie mają na nią żadnego wpływu; natomiast w sąsiedztwie mas grawitacyjnych światło zakrzywia się w ich stronę. Dlatego też mówimy o samej przestrzeni, że jest „zakrzywiona”. Stąd pochodzi takie określenie jak krzywizna powierzchni. Nie należy sobie wyobrażać, że przestrzeń jest zakrzywiona w potocznym znaczeniu tego słowa, lecz oznacza to, że zawiera ona masy grawitacyjne (gwiazdy i inne układy planetarne, jakie mogą istnieć), które powodują, że promienie świetlne w ich sąsiedztwie uginają się.

Ta własność mas grawitacyjnych zakrzywania promieni świetlnych tłumaczy, dlaczego Wszechświat nasz jest nieograniczony. Chociaż bowiem promienie świetlne poruszają się po liniach prostych w pustych obszarach międzygwiazdnych to jednak uginają się one w sąsiedztwie gwiazd. Jeśli zaś promienie świetlne będą w dostatecznym stopniu wielokrotnie zakrzywane, to obrócą się one czołem w przeciwnym kierunku w ten sam sposób, w jaki czyni to podróżny, gdy znajdzie się na pół drogi w swej podróży dookoła Ziemi. I tak jak ziemski wędrowiec, który stale poruszając się po linii prostej na powierzchni Ziemi wraca do punktu wyjścia, tak samo kosmiczny podróżny w naszym Wszechświecie znajdzie się z powrotem na Ziemi, jeśli porusza się on – jak mu się wydaje – po linii prostej w przestrzeni. Nie bardziej zda on sobie sprawę z tego, że zakreślił gigantyczny okrąg w przestrzeni, niż ziemski podróżnik jest świadom tego, że podróżuje wzdłuż koła na Ziemi. W ogólności linia prosta w przestrzeni jest więc drogą wiązki świetlnej i może być prosta, a częściowo zakrzywiona. Aby uniknąć mylenia tego pojęcia z tym, co normalnie uważamy za linie proste, będziemy mówić o liniach, po których biegnie światło, jako liniach świata, a nie prostych liniach w przestrzeni. Jeśli więc Einsteińska koncepcja Wszechświata jest słuszna, to przestworzeń, który oznacza Ziemię i stale porusza się wzdłuż linii świata, zawsze zakończy podróż znów na Ziemi, niezależnie od tego, w jakim



*kierunku z niej wyruszył. I znów, tak jak ziemski podróżny, nie napotka on żadnej bariery podczas tej wycieczki wokół Wszechświata; Wszechświat jest przeto nieograniczony. Wszechświat nasz jest skończony, gdyż jeśli stale poruszać się będziemy wzdłuż linii świata i zakończymy naszą podróż po pewnym czasie znów w punkcie wyjścia, to przebędziemy jedynie skończony kawałek przestrzeni. I znów, podobnie jak powierzchnia kuli, ten kawałek przestrzeni jest mierzalny. Fizycznym obrazem naszego wszechświata jest obraz pustego oceanu przestrzeni z galaktykami gwiazdnymi( plus inna dowolna materia niebieska, jaka ewentualnie istnieje),rozproszonymi w nim mniej lub bardziej jednostajnie, podobnie jak rodzynki w cieście.( Niektórzy mówią o grawitacyjnych masach jako o „brodawkach w przestrzeni”, „supelkach w przestrzeni lub „fałdach na powierzchni przestrzeni). Co więcej nie istnieje żadna zewnętrzna krawędź Wszechświata, gdyż widzieliśmy, że ciągła podróż wzdłuż linii świata sprowadza nas znowu do punktu wyjścia. Wszechświat nasz jest zamknięty sam w sobie.*

*A teraz wyobraźmy sobie uproszczony obraz, który może być dla nas jako-taką pomocą do tej pierwotnej Einsteińskiej koncepcji naszego Wszechświata. Oto Ziemia narysowana jest w środku (nie należy stąd wnioskować, że Ziemia znajduje się naprawdę w centrum Wszechświata, gdyż nie istnieje przecież środek naszego Wszechświata, tak jak nie istnieje środek na dwuwymiarowej powierzchni kuli). Jeśli poruszać się będziemy na zewnątrz od centralnie położonej Ziemi, wzdłuż jednej z linii świata (które przedstawimy sobie jako linie wychodzące promieniście z Ziemi będącej w środku), to będziemy się wciąż coraz bardziej oddalali od Ziemi. Na dwuwymiarowej powierzchni odpowiada to oddalaniu się coraz dale i dalej od punktu wyjścia, gdy poruszamy się wzdłuż linii prostej na powierzchni Ziemi. W pewnej odległości, którą reprezentuje duży okrąg, „przestworzeń” znajduje się w maksymalnej odległości od Ziemi, analogicznie do ziemskiego podróżnego, który znajduje się w maksymalnej odległości od swego punktu wyjścia, gdy osiąga on punkt na Ziemi leżący diametralnie naprzeciw tego punktu wyjścia.*

*Gdy „przestworzeń” w dalszym ciągu będzie poruszał się wzdłuż swojej linii świata, to teraz zacznie się on zbliżać ku Ziemi.*

*Ilustrować mogą to odcinki linii świata na zewnątrz okręgu, zbiegające się ku innym Ziemiom. Ziemie te w rzeczywistości*

*przedstawiają naszą Ziemię będącą w centrum naszego wyobrażenia, ale dla podróżnego w przestrzeni kosmicznej, który nie rozumie istoty naszego Wszechświata, wydawać się one będą duplikatami naszej Ziemi, dopóki nie „zejdzie on znów na Ziemię” i nie zobaczy, że jest to rzeczywiście ta sama Ziemia, z której wyruszył w podróż. W dwuwymiarowej analogii ziemski podróżny również zobaczy w pewnej chwili przed sobą miejsce, z którego wyruszył, chociaż wie, że zostawił je za sobą. Jeśli nie rozumie on istoty swego świata, będzie również myślał, że widzi duplikat swego punktu wyjścia.*

*Ponieważ istnieje maksymalna możliwa odległość od Ziemi możemy uważać ją za promień Wszechświata. To również jest analogiczne do powierzchni kulistej; dla każdego jej punktu istnieje drugi punkt, który jest w maksymalnej odległości; jest to punkt położony na drugim końcu średnicy. Odległość między tymi dwoma punktami zależy oczywiście od promienia kuli – im większy jest promień, tym większa odległość między dwoma punktami. Dla Ziemi, np. punktem znajdującym się w maksymalnej odległości od bieguna północnego jest biegun południowy.*

*Natomiast promieniem Wszechświata jest promień dużego koła. Einsteinowi udało się znaleźć wyrażenie na promień Wszechświata. Wykazał on, że promień ten zależy od średniej gęstości materii we Wszechświecie (wyrażając się ściślej – że promień jest odwrotnie proporcjonalny do pierwiastka kwadratowego z gęstości).*

*Posługując się najlepszym oszacowaniem wartości średniej gęstości materii w przestrzeni obecnie uważa się, że promień Wszechświata wynosi około*

*320 000 000 000 000 000 000 000 – czyli 320 i 7 pozycji po 3 zera - kilometrów.*

*Musimy więc wywnioskować, że według ogólnej teorii względności Wszechświat był uważany za skończony i nieograniczony. Być może nigdy nie uda się sprawdzić doświadczalnie, czy tak jest naprawdę. Jednakże możemy się zabawić w przewidywania, co mogłoby nastąpić za wiele lat. Pewnego dnia, np., jakiś astronom zbuduje super-teleskop i wyobraźmy sobie, że spoglądając przezeń zobaczy świecący przedmiot podobny do Księżyca, ale z bardzo dziwnie wyglądającym, pokrzywionym, wyrastającym zeń drzewem. Dopiero po wielu godzinach spokojnych i dokładnych badań zorientuje się, że patrzy on na swoją własną świecącą tysinę od której światło przebiegło wokół Wszechświata i doń wróciło.*

### *Rozszerzający się Wszechświat*

*W roku 1929 dokonano ważnego odkrycia, które zupełnie obaliło Einsteinowski model Wszechświata, mimo ,że był on tak interesujący i zbudowany na dość mocnych matematycznych podstawach. W tym to właśnie roku amerykański astronom Edwin Powell Hubble ogłosił, że na podstawie doświadczalnych faktów (tak zwanego przesunięcia ku czerwieni) Wydaje się, że wszystkie inne galaktyki bardzo szybko od nas uciekają. Interpretuje się to w ten sposób, że nasz Wszechświat gwałtownie się rozszerza .Odkrycie to obala pierwotny Einsteinowski model Wszechświata przedstawiany przez nas powyżej, gdyż opierał się on na tym ,że Wszechświat nasz jest statyczny, czyli nie rozszerzający się. W ostatnich latach przedstawiono sporo różnych dynamicznych modeli rozszerzającego się Wszechświata, z których kilka jest tak samo fascynujących, jak pierwotny model Einsteina. Czytelnicy, których to interesuje, mogą przeczytać o tych modelach w wielu świetnych książkach z dziedziny astronomii i kosmologii; dalsze rozważanie tego tematu wykraczałoby już poza ramy tej książki.*

### *Rozdział – 7*

#### *Jednolita teoria pola*

*Mogłoby się wydawać, że teraz, gdy już w pełni omówiliśmy teorie względności, cała historia została opowiedziana i nie ma już nic do dodania. Byłoby to jednak dalekie od prawdy. Teoria względności jest tylko wstępem do o wiele większego i bardziej dręczącego problemu, z którym borykał się Einstein przez ostatnie dwadzieścia pięć lat swego życia. Jest to tak zwana jednolita teoria pola. Problem ten jest łatwiej zrozumieć, niż rozwiązać. Pamiętajmy, że jednym z podstawowych zjawisk w naszym Wszechświecie jest zjawisko przyciągania grawitacyjnego – polegające na tym, że każde ciało we Wszechświecie przyciąga inne. Widzieliśmy, że matematycznie można wyrazić to w przybliżeniu przez prawo Newtona:*

$$F = \frac{Gmm'}{d^2}$$

*d do kwadratu  
gdzie m jest masa jednego ciała  
m' masa drugiego  
d odległością między nimi  
G stałą grawitacyjną*

Znamy jednak również inne rodzaje sił, które są podobne do przyciągania grawitacyjnego. Dwa różne ładunki elektryczne (ładunek ujemny i dodatni) również będą przyciągały się z siłą podana w równaniu 10:

$$F = \frac{C qq'}{d \text{ do kwadratu}}$$

gdzie  $q$  jest wielkością ładunku ujemnego  
 $q'$  wielkością ładunku dodatniego  
 $d$  odległością między nimi  
 $C$  stałą

Wzór ten jest znany jako prawo Coloumba od nazwiska odkrywcy. Mamy też podobny wzór dający siłę przyciągania między dwoma różnymi biegunami magnetycznymi (północnym i południowym biegunem magnetycznym). Jest to równanie:

$$F = \frac{KMM'}{d \text{ do kwadratu}}$$

gdzie  $M$  jest masą magnetyczną bieguna północnego  
 $M'$  masą magnetyczną bieguna południowego  
 $d$  odległością między nimi  
 $K$  stałą różną od poprzednich  $G$  i  $C$

Porównując te trzy równania możemy wyciągnąć dwa ważne wnioski. Po pierwsze trzy równania, które matematycznie wyrażają trzy różne i całkiem ze sobą nie związane zjawiska, mają identyczną formę. Drugim ważnym wnioskiem jest stwierdzenie różnicy pomiędzy siłą grawitacyjnego przyciągania między dwiema masami z jednej strony, a elektryczną i magnetyczną siłą – z drugiej. Siły grawitacyjne są to jedynie siły przyciągania, natomiast siły elektryczne i magnetyczne mogą być przyciąganiem lub odpychaniem. Na przykład dwa różne ładunki elektryczne będą się przyciągały, ale dwa takie same ładunki (dwa ładunki ujemne lub dwa dodatnie) będą się odpychały. Podobnie dwa różne bieguny magnetyczne będą się przyciągały, ale dwa jednakowe bieguny (dwa północne albo dwa południowe) będą się odpychały. Trzy rodzaje sił są więc pod pewnym względem podobne, ale pod innym się różnią. Równania te były wyprowadzone empirycznie przez różnych ludzi pracujących zupełnie niezależnie od siebie. Podobieństwo wszakże między tymi rodzajami sił (grawitacyjna, elektryczna i magnetyczna) jest tak uderzające, że

wydaje się, iż wszystkie trzy muszą być szczególnymi przypadkami jakiegoś bardziej podstawowego prawa przyrody. Usiłowanie wyprowadzenia tych równań z bardziej podstawowej teorii stanowi jeden z głównych aspektów jednolitej teorii pola. Ogólny cel jednolitej teorii pola jest jednak znacznie szerszy. Celem tym jest wydedukowanie wszystkich znanych zjawisk fizycznych z kilku prostych podstawowych zasad. Do tej pory prawa fizyki rozwijane były w oddzielnych działach czy gałęziach nauki, w sposób ogólnie nie powiązany. Prawa termodynamiki tworzą jedną gałąź prawa optyki – drugą, itd. Dojrzewając naukowo przez te wszystkie lata, gdy nasz zasób wiedzy o świecie fizycznym wzrastał od niezmiernie małego do coraz większego, zaczęliśmy dostrzegać związki między poszczególnymi gałęziami. Te powiązania, tam gdzie występują, pozwalają nam zdobywać wiedzę o przyrodzie w dużo szybszym tempie. Jeśli dzięki jednolitej teorii pola uda nam się sformułować raz na zawsze podstawowe prawa rządzące Wszechświatem, wówczas prawa wszystkich. Tak różnych gałęzi wynikną z nich jako prosta konsekwencja. Stworzenie jednolitej teorii pola brzmi wprawdzie bardzo zachęcająco, jak jednak w praktyce rozwinąć taką teorię? Jak sama nazwa wskazuje teoria ta ma do czynienia z polami. Gdy dwie masy grawitacyjne (lub ładunki elektryczne, bądź bieguny też magnetyczne) przyciągają się, to oddziaływanie to zachodzi w obszarze, czyli polu, znajdującym się między tymi samymi. Ponieważ na ciała mają wpływ inne ciała znajdujące się w pewnej odległości od nich, więc Newton takie oddziaływanie nazywał „działaniem na odległość”. Nie wiadomo, co zachodzi w obszarze między oddziaływującymi ciałami. Aby zrozumieć zasadnicze własności pól w ogóle, Einstein rozpatrywał to samo pole samo w sobie. Pola grawitacyjne, elektryczne i magnetyczne, winny być po prostu szczególnymi przypadkami takiego ogólnego pola, a ogólną teorię względności (będącą teorią grawitacji) można by wyprowadzić z jednolitej teorii pola.

Do tej pory uczeni zajmowali się głównie wielkościami, które można bezpośrednio mierzyć: temperaturą, ciśnieniem, siłą itd., i posługując się nimi budowali teorie. Dzięki temu mogli oni mierzyć te wielkości doświadczalnie, niejako automatycznie.

Główny nacisk kładli nie na zrozumienie istoty zjawiska, ale na jego fizyczny dowód, lub jak to nazywał Einstein, na „bliskość z codziennym doświadczeniem”. Jednak prawdę mówiąc, jakkolwiek

dowód fizyczny jest pożądanym, to jednak nie jest on najważniejszym elementem. Bardzo prawdopodobne jest, że jednolita teoria polania da się tak podporządkować dowodom doświadczalnym, jak dawały się inne teorie do tej pory, gdyż zjawiska, których ona dotyczy, mają dużo subtelniejszy charakter. Wielka wszakże potęga jednolitej teorii pola tkwi w tym, że może ona dać dużo bardziej owocne wyniki, niż proste wyprowadzanie formułek, z którym mieliśmy często do czynienia. Jeżeli bowiem naprawdę dobrze zrozumiemy podłoże teorii pola, to będziemy mogli rozumieć też siły, o których wiemy wprawdzie, że istnieją, jednak niewiele więcej ponad to. Jako przykład niech posłużą potężne siły wiążące cząstki w jądrze, czyli siły jądrowe. Wiemy, że siły te są znacznie silniejsze od sił kulombowskich, skutkiem których jednakowe ładunki odpychają się, ale ponadto wiemy niewiele. Bardzo możliwe, że istnieje coś takiego jak pole jądrowe, analogiczne do pola grawitacyjnego ale dużo silniejsze, które będzie mogła przewidzieć jednolita teoria pola. Przy pewnym wysiłku możemy wyobrazić sobie szersze jeszcze zastosowanie jednolitej teorii pola. Widzieliśmy, że siły grawitacyjne są jedynie siłami przyciągania lub odpychania?, że to brakujące ogniwo czeka tylko na odkrycie przez nas ogólnych praw rządzących polami, zanim będziemy mogli otrzymać taką odpychającą siłę grawitacyjną. Rozumowanie to można rozwijać dalej. Być może prawdziwe zrozumienie i znajomość pól pozwoli nam przewidywać i tworzyć pola zupełnie różne od tych, jakie teraz znamy. Takie osiągnięcia naukowe są rzadkie w naszej cywilizacji, ale olśniewającym przykładem jest teoretyczne przewidzenie przez Maxwella w roku 1864 istnienia fal radiowych jedynie na podstawie elementarnej wiedzy z dziedziny elektryczności i magnetyzmu. Fakt, że fal tych nie potrafiono następnie otrzymać doświadczalnie przez przeszło 20 lat, czyni osiągnięcie Maxwella jeszcze bardziej godnym uwagi. Możliwe, że znajdujemy się w przededniu podobnych odkryć dzięki jednolitej teorii pola. Żyjemy w niezwykle interesujących czasach. Nie tylko dlatego, że nauka rozwija się w coraz szybszym tempie, ale, że każde nowe naukowe odkrycie zapowiada wiele innych, z których każde następne jest bardziej fascynujące od poprzedniego; wiele z nich zawdzięczać będziemy geniuszowi Alberta Einsteina i jego teorii względności.

*I wydanie polskie Warszawa rok 1963*  
*Przekład z angielskiego – Joanna Ryteń*  
*Niniejszą książkę – z księgozbioru wujka B.Jarosińskiego -*  
*przepisywałam od 30-4 do 14-5 2013 roku*

*Iwona Iwańska*

**KONIEC**