



Z CZEGO ZBUDOWANY JEST ŚWIAT

Dub 137
CZŁOWIEK I ŚWIAT

Z CZEGO
ZBUDOWANY JEST ŚWIAT

J. A. THOMSON



GEBETHNER I WOLFF
ZAKŁAD NARODOWY IM. OSSOLIŃSKICH

J. A. THOMSON

Z CZEGO ZBUDOWANY JEST ŚWIAT

W TEKŚCIE
4 PLANSZE



GEBETHNER I WOLFF
ZAKŁAD NARODOWY IM. OSSOLIŃSKICH

1 9 3 9

539

41.022; R 63.946
R

Bibl. Publ. m. st. W-wy
Egz. 418X1

Bibl. Publ. m. st. W-wy
Nab. 418X1

Z ORYGINAŁU ANGIELSKIEGO
WHAT THE WORLD IS MADE OF
PRZEŁOŻYŁ I UZUPEŁNIŁ
W. OPEŁCHOWSKI

Wycel. 1000. 1000. 1000.
Biblioteki Publicznej
m. st. Warszawy



OKŁADKĘ PROJEKTOWAŁ
E. MANTEUFFEL

BIBLIOTEKA UNIWERSYTECKA
im. Jerzego Giedroycia w Białymstoku



FUW0277533



Czyt. Naukowa VII
Nr. 2908

Nr 144/1938

DRUKARNIA NARODOWA W KRAKOWIE

PRZEDMOWA TŁUMACZA

Tekst polski niniejszej książki różni się nieco od tekstu angielskiego. Nie będę tu wyliczał szczegółowo poczynionych zmian i uzupełnień. Chciałbym tylko zaznaczyć, że większość ich została narzucona po prostu przez konieczność zaktualizowania książki, której wydanie angielskie ukazało się dziesięć lat temu. Z tego powodu np. uległy sporej przeróbce rozdziały XII, XIII, XIV i XIX oraz trzeba było dołączyć cały nowy rozdział XV^{III} o fizyce jądra atomowego. Jednak chciałbym podkreślić, że wszelkie zmiany zostały dokonane w stopniu niezbędnym ze względów rzeczowych. W szczególności starałem się zachować wszędzie nadzwyczaj prosty, miejscami rozmyślnie naiwny styl angielskiego tekstu.

Tłumacz.

Październik 1938 r.

A/314/08p

WSTĘP

Ludzie ze wschodu głowiąc się nad podstawami wszechświata zawyrokowali, że musi on się wspierać na grzbiecie olbrzymiego słonia. A ten słoń? Słonia tego umieścili na grzbiecie żółwia potwornych rozmiarów i na tym zakończyli sprawę. Ale gdyby przywołali na pomoc wszystkie istniejące w przyrodzie zwierzęta, nie zbliżyliby się w ten sposób do podstawy świata. I rzeczywiście większość ludów starożytnych nie czyniła wcale wysiłku, aby znaleźć taką podstawę. Wszechświat był bardzo zwartym, małym układem, głównie złożonym z ziemi i tego wielkiego stropu nad ziemią, który nazwano niebem. Jako całość, wszechświat unosił się w nicości. I pod tym względem starożytni byli mądrzejsi, niż im się zdawało. Przedmioty by nie spadały, gdyby ich w dół nie ciągnęła owa tajemnicza siła, którą nazywamy grawitacją. Wprawdzie ziemia jest przyciągana przez słońce i spadłaby na nie, ale unika ona tego ognistego losu dzięki temu, że krąży z wielką szybkością dookoła słońca. Gwiazdy przyciągają się wzajemnie, ale jednocześnie wędrują szybko po olbrzymich orbitach.

Jednak potrzeba nam, w nowym znaczeniu tego słowa, podstaw wszechświata. Nasz umysł domaga się jakiegoś wyjaśnienia istoty materii, z której wszechświat jest zrobiony. Po to wyjaśnienie zwracamy się do nowoczesnej fizyki i chemii. Obie te nauki badają z różnych punktów widzenia materię i energię i wypracowały oparty na nich pogląd na istotę rzeczywistości, który stanowi epokę w historii myśli ludzkiej.

I

DAWNE WYOBRAŻENIA O ATOMACH

Więcej niż dwa tysiące lat temu pierwsi uczeni, Grecy z miast Azji Mniejszej, zastanawiali się nad istotą materii. Można rozetrzeć kamień na proszek. Można podzielić łyżkę wody na tyle kropel, na ile się chce. Na pozór można posunąć się w dzieleniu tak daleko, jak na to pozwala subtelność narzędzi, którymi się rozporządza. Ale musi istnieć kres, orzekli owi Grecy, i tym samym założyli, że wszelka materia jest ostatecznie złożona z drobnych cząstek, które są niepodzielne. Oto jest znaczenie greckiego słowa „atom“.

Podobnie jak wiele innych idei tych znakomitych, wczesnych greckich myślicieli, atom był zdrowym pomysłem. My wiemy dzisiaj, że materia składa się z atomów. Ale nauka była wówczas tak młoda, że sposób, w jaki Grecy myśl tę zastosowali, nie był zbyt głęboki. Ciecz albo gaz, mówili oni, złożona jest z okrągłych, gładkich atomów, które nie mogą przylgnąć do siebie wzajemnie. Poza tym istniały atomy o powierzchniach chropowatych, „haczykowatych“; te atomy przylgły do siebie i tworzyły ciała stałe. Na przykład atomy żelaza czy marmuru były tak bardzo haczykowate, że silny mężczyzna nie mógł ich rozerwać, kiedy się już raz złączyły. Według Greków wy tłumaczenie wszechświata polegało na tym, że atomy, w nieskończonej ilości, poruszały się i mieszały w nieskończonej przestrzeni przez czas nieskończony, aż wreszcie natrafiły przypadkiem na tę szczególną kombinację, którą jest nasz wszechświat.

Było to zbyt proste i powierzchowne. Pojęcie atomu zo-

stało zarzucone, ale miało ono być znowu podjęte na różne sposoby. Wskrzesał je na początku dziewiętnastego stulecia sławny chemik manchesterski, John Dalton. On pierwszy sformułował teorię atomistyczną w sposób wyraźny jako hipotezę naukową. Cała fizyka i chemia tego stulecia oparta była na atomie i wielkim błędem jest przypuszczenie, że najnowsze odkrycia zdyskredytowały „atomizm“. Atom jest najmniejszą cząstką chemicznego pierwiastka. Nikt nigdy nie widział atomu. Nawet zadziwiający nowy mikroskop, który właśnie został wynaleziony, nie może nam pozwolić na oglądanie cząstek materii milion razy mniejszych niż grubość włosa; takie są bowiem rozmiary atomów. Możemy ważyć je i mierzyć, chociaż są niewidzialne, i wiemy, że wszelka materia jest z nich złożona. Nowym jest odkrycie, że atomy nie są niepodzielne. Składają się one same, jak to zobaczymy, z jeszcze mniejszych cząstek. Niemniej atomy istnieją i wciąż wolno nam mówić, że są one cegiełkami, z których zbudowany jest świat materialny.

Ruch cząsteczek.

Ale gdybyśmy mieli jakieś szkło magiczne, za pomocą którego moglibyśmy ujrzeć budowę przedmiotów materialnych, to nie zobaczylibyśmy atomów równo obok siebie ułożonych jak cegły w murze. Zazwyczaj dwa atomy albo i więcej tworzą najpierw większą cząstkę, którą nazywamy „cząsteczką“.¹ Pojedyncze atomy zazwyczaj nie istnieją oddzielnie; jeśli jakaś cząsteczka zostanie rozbita, to poszczególne atomy starają się złączyć z innymi atomami innego rodzaju albo też między sobą. Na przykład trzy atomy tlenu tworzą to, co nazywamy ozonem; dwa atomy wodoru złączone z jednym atomem tlenu tworzą wodę. Właśnie z cząsteczek składa się prze-

¹ Dawniej mówiło się „molekuła“ lub drobina.

ważnie materia; cząsteczka, jak to ktoś powiedział, jest małą budowlą, w której cegłami są atomy.

W ten sposób osiągamy pożyteczny wstępny pogląd na przedmioty materialne, z którymi mamy do czynienia. W cieczy cząsteczki przylegają do siebie luźno. Są złączone razem jako ciało, ale oddalają się od siebie i zbliżają. Istnieją „więzy“ między nimi, ale są one mniej potężne, niż w ciele stałym. Nalejmy trochę wody do kociołka nad zapalonym gazem, a zaraz drobnutkie cząsteczki wody rzucą się poprzez otwór i w postaci obłoków pary rozproszą się po całej kuchni. Ciepło przerwało więzy, które je łączyły, i zamieniło wodę w coś podobnego do gazu; jednak wiemy, że te cząstki, w miarę oziębiania się, znowu się połączą i utworzą krople wody.

W gazie cząsteczki posiadają pełną wolność indywidualną. Są w stanie gwałtownego ruchu i nie tworzą połączeń między sobą. Jeśli pragniemy zmusić cząsteczki, aby znalazły się w stanie owego luźnego związku, w jakim są w cieczy, to musimy stosując ostre zimno sprawić, aby ich ruchy indywidualne stały się powolniejsze. Oto jak nowoczesny uczony skrapla gazy. Żadna nam dostępna siła nie skropli powietrza w zwykłej temperaturze. W bardzo ostrym zimnie natomiast powietrze samorzutnie stanie się cieczą. Kiedyś, kiedy ognie słońca przygasały, temperatura ziemi stanie się niższa niż — 200° C: to znaczy, więcej jak dwieście stopni Celsiusa poniżej punktu zamarzania wody. Obniży się do temperatury księżyca. Nasza atmosfera będzie wtedy oceanem ciekłego powietrza na dziesięć metrów głębokim, spoczywającym na twardo zmarzniętych masach wód oceanicznych.

W ciele stałym cząsteczki przylegają wzajemnie do siebie mocno. Potrzeba siły równej kilkudziesięciu tonom, aby rozerwać cząsteczki w belce żelaznej na cal grubej. Jednak ta struktura nie jest „stała“ w codziennym sensie tego słowa. Jeśli

zanurzyć kawałek złota w stanie stałym do rtęci, to złoto przyjmie rtęć pomiędzy swoje cząsteczki, jak gdyby było porowate jak gąbka. Najtwardsze ciało stałe jest bardziej podobne do kraty, niż do tego, co zazwyczaj rozumiemy przez „stałość”; jednak cząsteczki nie są jak pręty w kracie nieruchome, lecz są w gwałtownym ruchu; drgają one dokoła położenia równowagi. Gdybyśmy mogli zajrzeć do wnętrza kawałka najtwardszej stali, zobaczylibyśmy biliony poszczególnych cząsteczek, poruszających się tam i na powrót w pewnej odległości od siebie.

Ruch Browna.

Ten ruch cząsteczkowy można w pewnej mierze uczynić widzialnym. Botanik nazwiskiem Brown zauważył, że w roztworze, zawierającym bardzo drobną zawiesinę, cząstki tej zawiesiny są w ciągłym ruchu. Pod potężnym mikroskopem widać je, jak poruszają się gwałtownie; podążają one tu i tam niezależnie od siebie, trochę jak kule bilardowe na bilardowym stole, zderzając się i odbijając we wszystkich kierunkach. Tysiące razy na sekundę zdarzają się te spotkania i ten żywy ruch trwa stale, to nieustanne zderzanie się jednych cząstek z innymi jest normalnym stanem rzeczy; żadna z nich nie pozostaje w spoczynku. Przyczyny tego zostały zbadane i obecnie jest rzeczą wiadomą, że owe cząstki poruszają się, bo są nieustannie bombardowane przez cząsteczki cieczy. Cząsteczki nie mogą być oczywiście widziane, ale fakt ich nieustannego ruchu ujawnia się oku przez zachowanie się widzialnych cząstek zawiesiny. Ten nieustanny ruch w świecie cząsteczek nazywa się ruchem Browna i jest uderzającym dowodem rzeczywistości ruchów cząsteczkowych.

II

ATOMOWY ŚWIAT CUDÓW

Zbadanie przez fizyków i chemików dzisiejszych tego świata cudów, jakim jest świat atomów i cząsteczek, stanowi jeden z najbardziej imponujących triumfów nowoczesnej nauki. Abstrahując nawet od radu, elektronów i innych sensoryjnych odkryć lat ostatnich praca badawcza nad zwykłą materią nie ustępuje ani pod względem swej ważności, ani pod względem śmiałości pracy astronoma. I ta sama jest podstawa w obu przypadkach: zdumiewające przyrządy oraz łańcuchy rozumowań matematycznych, które zadziwiłyby Euklidesa czy Archimidesa. Dlatego, chociaż fakty i liczby, które zaraz podamy w związku z małością atomów i cząsteczek wydają się zdumiewające, to jednak musimy dobrze pamiętać, że zawdzięczamy je najpewniejszym i najściślejszym procesom myśli ludzkiej.

Jednakowoż zasadę da się w większości przypadków wyjaśnić w sposób taki, że czytelnik nie będzie proszony o przyjmowanie zbyt wiele na wiarę. Na przykład jest rzeczą powszechnie wiadomą, że złoto jest dostatecznie miękkie na to, aby można było zeń wykuć cienkie złote listki. Jest też rzeczą powszechnie zrozumiałą, mamy nadzieję, że jeśli znanych wymiarów sześciąt złota przekuje się na blaszkę o powierzchni wynoszącej znaną liczbę centymetrów kwadratowych, to można podać grubość listka nie mierząc jej. Jeden decygram złota można rozwałkować na blaszkę o powierzchni około 750 centymetrów kwadratowych. Otóż łatwo obliczyć, że jeśli powierzchnia blaszki otrzymanej z jed-

nego decygrama złota ma być tak znaczna, to grubość tej blaszki musi wynosić zaledwie $\frac{1}{1443}$ milimetra. Najcieńszy listek złoty okaże się za gruby dla naszych celów, więc zwracamy się z nowym zainteresowaniem do owej zabawki naszego dzieciństwa, do bańki mydlanej. Jeżeli się uważnie przyjrzyć jednej z tych delikatnych błonek mydlanej wody, to spostrzeże się na niej ciemne kropki i plamki. Są to najcieńsze miejsca błonki i dwiema zupełnie niezależnymi metodami — jedna oparta na użyciu elektryczności, druga światła — stwierdzono, że w tych punktach grubość bańki wynosi mniej niż jedną stutysięczną centymetra. Ale cząsteczki w błonie zespolone są z sobą tak silnie, że musi ich być co najmniej dwadzieścia do trzydziestu w najcieńszych miejscach. Grubość cząsteczki musi więc wynosić znacznie mniej niż jedna stutysięczna centymetra.

Ziarnko indyga.

Znaleziono następnie, że błonka oliwy na powierzchni wody może być jeszcze cieńsza, niż bańka mydlana. Profesor Perrin, Francuz, wielki autorytet w sprawach atomowych, otrzymał błonki oliwy o grubości aż do jednej dwudziestomilionowej centymetra. Spuszczał znanej wielkości kroplę oliwy na wodę, a następnie znajdował dokładne granice warstewki oliwy posypując wodę drobnym proszkiem, który się osadzał wszędzie aż do krawędzi błonki i wyraźnie tę krawędź wyznaczał. Reszta jest pewnym i prostym rachunkiem, tak jak w przypadku ziarnka złota. Otóż ta warstewka oliwy musiała mieć grubość co najmniej dwóch cząsteczek, i wobec tego cząsteczka oliwy posiada średnicę znacznie mniejszą niż jedna trzydziestomilionowa centymetra.

Niezliczoną ilość metod stosowano i rezultaty były zawsze te same. Na przykład jedno ziarnko indyga zabarwi tonę wody. To oznacza oczywiście, że ziarnko takie zawiera biliony

cząsteczek, które rozproszyły się w wodzie. Odrobina piżma napełni zapachem pokój, czyli roześle cząsteczki do każdej części jego na kilka lat, a przy tym nie straci jednej milionowej swej masy w ciągu roku. Istnieją setki sposobów wykazania małości ostatecznych cząstek materii i niektóre z nich pozwalają nam na podanie określonych liczb. Starannie porównując najlepsze metody możemy powiedzieć, że przeciętna cząsteczka materii posiada średnicę mniejszą niż $\frac{1}{50\,000\,000}$ centymetra. Jeden centymetr sześcienny powietrza zawiera trzydzieści milionów bilionów cząsteczek. A ponieważ cząsteczka jest, jak widzieliśmy, grupą albo gronem atomów, więc atom jest jeszcze mniejszy. Atomy, z powodów które poznamy później, bardzo się różnią wzajemnie pod względem wielkości i wagi. Dość powiedzieć, że niektóre z nich są tak małe, że trzeba by ich sto milionów ustawić rzędem, aby pokryć długość jednego centymetra; i trzeba co najmniej tryliona atomów złota, aby osiągnąć wagę jednego grama. Pięć milionów atomów helu można by umieścić wzdłuż średnicy kropki.

Energia atomów.

A jest to tylko początek cudów, jakie zostały dokonane ze „zwykłą materią“, zupełnie niezależnie od radu i rewelacji z nim związanych, czym obecnie się zajmujemy. Wszyscy prawie słyszeli o „energii atomowej“ i o nadzwyczajnych rzeczach, które mogłyby być osiągnięte, gdybyśmy byli w stanie ujarzmić tę energię i zużytkować ją dla ludzkich celów. Głębsze i cudowniejsze źródło tej energii zostało odkryte w ciągu ostatnich trzydziestu lat, ale dobrze jest sobie zdawać sprawę z tego, że same atomy mają ogromną energię. Atomy materii drgają i wirują z niezwykłą siłą. Kawałek zimnego żelaza, który trzymam w ręku, okrucieństwo, który podnoszę, grosz, który wyjmuję z kieszeni, wszystko to są kolosalne zbiorniki energii, gdyż składają się z bilionów poruszających się ato-

mów. Na to, aby sobie zdać sprawę z całkowitej energii, musielibyśmy oczywiście być świadkami przemiany takiej jak te, które zachodzą w atomach pierwiastków promieniotwórczych, o czym teraz będziemy musieli nieco opowiedzieć.

Jeśli włożymy ziarnko indyga do szklanki z wodą albo odrobinę piżma do doskonale spokojnego pokoju, to od razu zrozumiemy, że cząsteczki podróżują. Podobnie fakt, że gazy rozprzestrzeniają się, aż dopóki nie wypełnią całej, „pustej“, dostępnej przestrzeni, wskazuje wyraźnie, że składają się one z małych cząstek podróżujących z wielką prędkością. Fizyk stosuje swoje wysubtelnione metody do tych rzeczy i wyznacza energię oraz prędkość tych nieskończenie drobnych cząsteczek. Mówi on nam, że cząsteczki tlenu w temperaturze topniejącego lodu podróżują z prędkością około 450 metrów na sekundę — to znaczy około pół kilometra na sekundę. Cząsteczki wodoru podróżują cztery razy prędeżej, czyli z prędkością trzy razy większą niż ta, z jaką pocisk wylatuje z broni palnej. Każda cząsteczka powietrza, które się wydaje tak spokojne w domu w dzień letni, w rzeczywistości podróżuje szybciej, niż pocisk na początku swej wędrówki. Zderza się ona z innymi cząsteczkami co jedną dziesięciotysięczną centymetra podczas swej wędrówki. I wskutek zderzeń zmienia swój kierunek 5.000.000.000 razy na sekundę. Jeślibyśmy mogli zatrzymać cząsteczki wodoru i zużytkować ich energię tak, jak zużytkowujemy energię pary albo energię wód Niagary, to okazałoby się, że każdy gram gazu wystarcza na to, aby podnieść jedną trzecią tony na wysokość jednego metra.

Użyłem do porównania prędkości pocisku z broni palnej, a przecież ludzie z poprzednich pokoleń uważaliby za niemożliwe nawet oszacowanie tej prędkości. Jest to dzisiaj oczywiście łatwe, o wiele łatwiejsze, niż owe dokładne i subtelne pomiary, które fizyk i chemik stosują. W jednej ze swoich interesujących prac Charles R. Gibson podaje fotografię dwóch

dokładnie równych kawałków papieru na przeciwnych szalkach subtelnej wagi. Jedno słowo zostało napisane ołówkiem na jednym z tych kawałków i ta odrobina grafitu już wystarczyła, aby obniżyć szalkę! Spektroskop wykrywa ilość materii nawet milion razy niż ta mniejsza, a elektroskop jest jeszcze milion razy czulszy niż spektroskop. Mamy przyrząd mierzący ciepło, bolometr, który sprawia, że najlepszy termometr wydać się musi przyrządem z połowy dziewiętnastego wieku. Odnotowuje on milionowe części stopnia. Takie to przyrządy pomnożone wielokrotnie pozwalają nam na dokonanie tych subtelnych prac, o których jest mowa na tych kartkach.

III

ODKRYCIE PROMIENI X I RADU

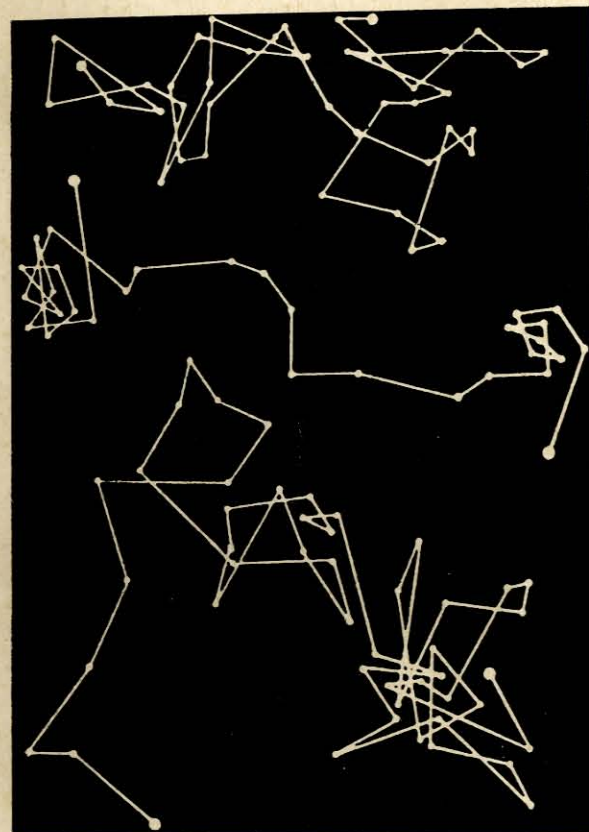
Ale te cuda atomu są tylko przygrywką do bardziej romantycznych i dalekosieżnych odkryć nowej fizyki — do cudów elektronu. Inna i bardzo ważna faza w poznawaniu przez nas świata materialnego rozpoczęła się z odkryciem radu w 1898 roku.

Z odkryciem pierwiastków promieniotwórczych została odkryta pewna nowa własność materii. Co nastąpiło po odkryciu radu i promieni X, zobaczymy.

Jak to niedawno powiedział Sir Ernest Rutherford, jeden z największych naszych autorytetów, nowa fizyka rozproszyła ostatnie wątpliwości co do realności atomów i cząsteczek. Bliższe poznanie materii, które byliśmy w stanie osiągnąć, wskazuje istotnie, że składa się ona z atomów. Ale nie trzeba brać teraz tego słowa w jego pierwotnym greckim znaczeniu (rzecz „niepodzielna“). Atomy nie są niepodzielne. Mogą być rozbite. Są złożone z jeszcze mniejszych cząstek.

Odkrycie.

Odkrycie, że atom składa się z jeszcze mniejszych cząstek, było bardzo mile widzianym urzeczywistnieniem marzenia, które nawiedzało wyobraźnię dziewiętnastego stulecia. Chemicy powiadali, że jest około osiemdziesięciu różnych rodzajów atomów — czyli różnych rodzajów materii, — ale żaden z nich nie był zadowolony z tej wielorakości. Nauka zawsze dąży do prostoty i jedności. I możliwe, że nauka zrobiła teraz wielki krok w kierunku wykazania podstawowej jedności



Rysunek ten został sporządzony na zasadzie bezpośrednich obserwacji mikroskopowych. Widzimy tu bezładny ruch drobnych cząstek, zawieszonych w cieczy, na skutek ciągłego bombardowania ich przez cząsteczki cieczy. Ruch ten nosi nazwę ruchu Browna i jest uderzającym potwierdzeniem słuszności teorii, według której cząsteczki ciał są w stanie nieustannego ruchu.

wszelkiej materii. Chemik nie umiał rozbić tych „pierwiastków” na coś prostszego i wobec tego nazwał ich atomy „niepodzielnymi” w tym znaczeniu. Ale wielu uczonych wyrażało nadzieję, że jednak odkryjemy jakąś materię podstawową, z której by się owe różnorakie atomy składały — jakąś jedyną praszubstancję, z której powstały i są zbudowane wszelkie różnorodne formy materii. Proust wysunął taką myśl na początku stulecia, kiedy to atomy zostały ponownie odkryte przez Daltona. Ojciec Secchi, Jezuita, sławny astronom, wypowiedział pogląd, że wszelkie atomy prawdopodobnie powstały z eteru, i było to bardzo przychylnie przyjęte. Sir William Crookes mawiał o „protyle” jako o substancji podstawowej. Inni sądzili, że tym materiałem, z którego wszystkie inne atomy się składają, jest wodór.

Praca, której wynikiem ostatecznym było odkrycie radu, zaczęła się od pięknych doświadczeń profesora Crookesa w latach osiemdziesiątych.

Zauważono w roku 1869, że kiedy przez rurę próżniową przepuszczany zostaje nabój elektryczny, pojawia się dziwne świecenie: ścianki szklanej rury poczynają się jarzyć zielonkawą fluorescencją. Rura próżniowa jest to szklana rura, z której zostało wypompowane prawie wszystko powietrze, bo całkowicie nie możemy nigdy opróżnić rury. Crookes używał tak pomysłowych metod, że mógł osiągnąć to, iż gaz w rurach stawał się dwadzieścia milionów razy rzadszy niż atmosfera. Następnie przepuszczał on przez nie wyładowanie elektryczne i otrzymywał rezultaty bardzo uwagi godne. Ujemny biegun prądu elektrycznego („katoda”) wysyłał promienie, które powodowały słabe świecenie cząsteczek rozrzedzonego gazu w rurze i ładną fluorescencję jej szklanych ścianek. Cóż to były za promienie? Crookes myślał początkowo, że odpowiadały one „nowemu, czwartemu

Z czego zbudowany jest świat



stanowi materii". Dotychczas byliśmy obeznani tylko z materią w trzech stanach: stałym, ciekłym i gazowym.

Otóż Crookes był rzeczywiście u progu wielkiej tajemnicy. Ale upłynęło około dwudziestu lat zanim prawdziwa natura tych promieni została ostatecznie i niezależnie przez różne doświadczenia ustalona. Doświadczenia stwierdziły, „że promienie te są prądem ujemnie naładowanych cząstek, które wędrują z olbrzymimi prędkościami od 5.000 do 50.000 kilometrów na sekundę. Ponadto znaleziono, że masa każdej z cząstek jest niesłychanie mała, równa około $\frac{1}{1800}$ masy atomu wodoru, najlżejszego atomu znanego nauce". Te cząstki, czyli elektrony, jak się je teraz nazywa, są wyzwalamy z wnętrza atomu. Atomy materii ulegały rozpiciu w rurkach Crookesa. Podówczas jednak przedwczesnym było myśleć o takich rzeczach i Crookes wołał mówić, że cząstki gazu elektryzują się i z wielką siłą uderzają o ścianki rury. Powiadał on, że jest to zwykła materia w nowym stanie, w „stanie promienistym". Inny wybitny uczony, Lenard, umieszczał małą, aluminiową płytkę w szklanej ścianie rury i znajdował, że tajemnicze promienie przechodziły przez tę płytkę, jak gdyby była okienkiem. I orzekł, że muszą być one falami eteru.

Odkrycie promieni X.

I tak sprawa postępowała naprzód z roku na rok. Zobaczmy za chwilę do czego to doprowadziło. Tymczasem następny wielki krok został zrobiony, kiedy w roku 1895 Roentgen odkrył promienie X, które obecnie znane są każdemu. Kontynuując doświadczenia Lenarda, przykrył on pewnego dnia „rurę Crookesa" czarnym materiałem. Ku jego zdziwieniu ekran chemiczny, który znajdował się obok rury, poczęł się jarzyć. Promienie przeszły przez czarny materiał; a w dalszych doświadczeniach stwier-

dził on, że przechodzą one przez kamień, przez żywe ciało i przez wszelkie „nieprzezroczyste" substancje. Wkrótce potem świat ze zdziwieniem się dowiedział, że można fotografować szkielet w ciele żywego człowieka, oznaczyć we wnętrzościach dziecka miejsce, w którym się znajduje grosz przez nie połknięty, albo zobaczyć monetę poprzez płytę kamienną.

A czymże są to promienie X? Nie są postacią materii, nie są cząstkami materialnymi. Promienie X są, jak stwierdzono, nową odmianą światła o zadziwiającej przenikliwości. Fale świetlne są drganiami eteru,¹ i, jak zobaczymy, te zaburzenia w eterze są wszystkie tego samego rodzaju, a różnią się tylko długością fali. Promienie X, które Roentgen odkrył, są więc odmianą światła, ale uprzednio nam nieznaną; są one falami eteru o bardzo małej długości. Okazało się, jak wszyscy wiedzą, że promienie X mają pod wieloma względami wielką wartość, ale tego nie potrzebujemy tutaj roztrząsać. Zobaczymy, co nastąpiło po odkryciu Roentgena.

Podczas gdy świat podziwiał te cuda, uczeni podążali skwapliwie tą nową drogą do tajemnic materii, które zaprzątały umysł Crookesa i innych badaczy. W roku 1896 Becquerel postawił nas u progu nowego odkrycia.

Niektóre substancje fosforyzują, tzn. świecą, jeśli uprzednio były wystawione na światło słoneczne przez czas pewien, i Becquerel badał, czy nie ujawniają one promieniowania X. Pewnego dnia wybrał on do tego celu sól metalu zwanego uranem. Chodziło mu o sprawdzenie, czy — po uprzednim wystawieniu jej na światło słoneczne — będzie można, za pomocą promieniowania wysyłanego przez nią, sfotografować krzyż po-

¹ Odwołujemy się wciąż do „eteru", bo chociaż nowe teorie fizyczne obchodzą się w dużej mierze bez tego pojęcia, to jednak jest koniecznym założyć jego istnienie w wykładzie elementarnym. Pogląd nowoczesny wyłożony będzie później.

przez substancję nieprzezroczystą. W oczekiwaniu na słońce, owinął swą sól i schował, ale okazało się, że sól uranowa nie czekała na słońce. Jakieś silne, wychodzące z niej promieniowanie przedostawało się przez nieprzezroczystą osłonę i dawało na kliszy, znajdującej się pod spodem, obraz krzyża. Światło czy ciemność nie miały do rzeczy. Tajemnicze promienie płynęły z soli noc i dzień. Było to czymś nowym. Była tu oto substancja, która zdawała się wytwarzać promienie X; promienie, wysyłane przez uran, przenikały te same nieprzezroczyste substancje, co i promienie X odkryte przez Roentgena.

Odkrycie radu.

Otóż, jednocześnie z wieloma innymi uczonymi podjęli badania profesor Curie i jego żona, Maria Skłodowska. Postanowili oni wykryć, czy emisja pochodziła od samego uranu, czy też od czegoś z nim złączonego, i w tym celu robili analizę chemiczną wielkiej ilości minerałów. Znaleźli oni pewien rodzaj blendy, który był bardzo aktywny, i zanalizowali całe jej tony skupiając stale swą uwagę na pierwiastku promieniującym. Po pewnym czasie, kiedy tak podawali przemianom chemicznym ową substancję, zaczęła ona świecić. Wreszcie z ośmiu ton blendy wydobyli około pół łyżeczki czegoś, co promieniowało milion razy silniej niż uran. Jedna tylko nazwa była dla tej substancji odpowiednia: radium.¹

Było to punktem wyjścia nowego rozwoju fizyki i chemii. Z wszystkich laboratoriów świata wołano o sole radowe (ponieważ czysty rad był zbyt kosztowny), a setki wybitnych badaczy skupiło swą uwagę na nowym pierwiastku. Badania przybrały szerokie rozmiary i rok po roku odkrywano coraz to nowe substancje „promieniotwórcze“, to znaczy, posiadają-

¹ Po angielsku i po francusku „radiation“ znaczy promieniowanie.

jące zdolność wysyłania promieni. Wiemy dzisiaj, że wiele jest odmian materii promieniotwórczej; a to oznacza, jak zobaczymy, że jej atomy rozpadają się na jeszcze mniejsze i zadziwiająco zasobne w energię cząstki, które nazywamy „elektronami“. To odkrycie elektronów spowodowało zupełny przewrót w naszych poglądach na materię.

Promieniowanie.

Atomy nie są więc niepodzielne, a w rzeczywistości dzielą się samorzutnie i wysyłają wszędzie poprzez wszechświat drobne kawałki swej substancji. Wyjaśnimy teraz, czego się później o elektronie dowiedziano. Chwilowo możemy powiedzieć, że każdy rozżarzony metal tryska strumieniem owych elektronów. Każda lampa łukowa je wysyła. Każde uderzenie pioruna oznacza ich ulewę. Każda gwiazda zalewa nimi przestrzeń. Jesteśmy świadkami samorzutnego rozpadu atomów, atomów, o których myśłano, że są niepodzielne. Słońce nie tylko ze swoich własnych atomów wylewa strumienie elektronów, ale jeszcze wysyła na ziemię światło nadfioletowe, które jest jednym z najpotężniejszych czynników, wyzwalających elektrony z powierzchniowych atomów materii na ziemi. Ale atmosfera pochłania w dużym stopniu to nadfioletowe, niewidzialne światło słoneczne — rodzaj światła, którym zajmujemy się wkrótce.

Ale uprzedzamy tu fakty, posuwamy się poza rad do zadziwiających odkryć, dokonanych przez chemików i fizyków. Dzieło małżonków Curie było tylko drogowskazem dla dalszej wielkiej pracy badawczej. Jak postępowała ona naprzód, jak wniknęliśmy do samego wnętrza drobnutkiego atomu i odkryliśmy nowe i potężne kopalnie energii oraz jak zdołaliśmy zrozumieć nie tylko materię, ale także elektryczność i światło, — o tym będzie mowa w następnym rozdziale.

IV

ODKRYCIE ELEKTRONU ORAZ PRZEWROT, JAKIEGO DOKONAŁO ONO W NASZYCH POGLĄDACH

Jakie wnioski narzucało odkrycie radu, zrozumiano dopiero stopniowo. Rad zawładnął wyobraźnią świata; był darem dla medycyny, ale dla uczonego był przede wszystkim bardzo zagadkowym i bardzo pociągającym zjawiskiem. Odczuwano, że zadziwiające własności radu odsłaniają mgliście jakąś wielką tajemnicę przyrody. Toteż na tych zadziwiających własnościach skupiło swą uwagę grono ludzi tak bardzo zdolnych — jak Sir J. J. Thomson, Sir Ernest Rutherford, Sir W. Ramsay i prof. Soddy. Żadna inna epoka nie mogłaby się pochwalić takim zespołem uczonych, zaopatrzonych przy tym w przyrządy tak się mające do wszystkich innych przyrządów z minionych wieków, jak „Queen Mary“ się ma do rzymskiej galery. W ciągu pięciu lat tajemnica została dobrze opanowana. Nie tylko wszelkie odmiany materii zostały sprowadzone do wspólnej podstawy, ale także osiągnięto jedność interpretacji sił wszechświata i zrozumiano je tak dobrze, jak nigdy przedtem.

Odkrycie elektronu.

Nie zabrało dużo czasu fizykom wykrycie tego, że promieniowanie radu jest bardzo podobne do promieniowania „rurki Crookesa“. Szybko także rozpoznano, że zarówno w rurce, jak i w radzie (i w innych metalach) atomy materii w jakiś sposób się rozpadają.

Jednakowoż pierwszym krokiem było stwierdzenie, że takie metale jak rad albo uran wysyłają z osobną promienie trojakiemu rodzaju. Sir Ernest Rutherford nazwał je, według trzech pierwszych liter greckiego alfabetu, promieniami alfa, beta i gamma. Ale nas obchodzi głównie druga grupa i zamierzamy zajmować się tą grupą wyłącznie.¹

„Promienie beta“, jak je początkowo nazwano, okazały się jednym z najbardziej interesujących odkryć, jakich nauka kiedykolwiek dokonała. Dowiodły one tego, co Crookes przypuszczał o promieniowaniach, które odkrył w swej rurce próżniowej. Ale nie czwarty stan materii został tu odkryty, a nowy jej składnik, składnik wspólny wszystkim jej atomom. Promienie beta zostały później ochrzczone mianem elektronów. Są one cząstkami bezcielesnej elektryczności, tutaj samorzutnie wyzwolonej przez atomy materii: dopiero wtedy, kiedy elektron został oddzielony od atomu, rozpoznano w nim osobną istotność. Elektrony są więc składnikami atomów materii i wykryto, że mogą być one uwolnione z atomu przez najrozmaitsze czynniki. Elektrony można znaleźć wszędzie, gdyż stanowią one część każdego atomu.

„Elektron“ powiada Sir William Bragg „może istnieć oddzielnie tylko wtedy, kiedy pędzi z olbrzymią prędkością, począwszy od jednej trzechsetnej prędkości światła wzwyż, to jest co najmniej tysiąc kilometrów na sekundę lub około tego. W każdym innym przypadku elektron łączy się z pierwszym atomem, który napotka.“ Te zadziwiające cząstki mogą podróżować z ogromnymi prędkościami, docho-

¹ O „promieniach alfa“ wiadomo obecnie, że są one atomami helu, pędzącymi z prędkością kilkunastu tysięcy kilometrów na sekundę.

„Promienie gamma“ są falami, podobnie jak promienie X, a nie cząstkami materialnymi. Okazało się, że są one odmianą promieni X. Posiadają one wielką zdolność przenikania substancji nieprzezroczystych; przechodzą na przykład przez pół metra żelaza.

dzącymi do 300.000 kilometrów na sekundę. Przede wszystkim dowiedziano się, że są one elektrycznej natury, gdyż wychylone zostają ze swej zwykłej drogi, jeśli zbliżyć do nich magnes. I fakt ten doprowadził do nowego odkrycia: do jednego z tych sensacyjnych oszacowań, które szeroka publiczność jest skłonna uważać za wynik najbardziej zawiłych spekulacji. Fizyk ustawił mały chemiczny ekran na drodze „promieni beta” i tak zainstalował swoją rurkę, że tylko wąski snop promieni padał na ekran. Następnie wychylił magnesem tę wiązkę promieni z jej biegu i dokładnie wymierzył na ekranie przesunięcie świecącego punktu, w którym promienie trafiały na ekran. Ale jeśli się zna ściśle natężenie pola magnetycznego (daje się ono zmieniać dowolnie) oraz wielkość wychylenia spowodowanego przez nie, a także masę poruszających się cząstek, to można obliczyć, jaka jest ich prędkość.

Cząstki te wylatują z atomów radu albo z ujemnego bieguna rurki próżniowej z prędkością, która w odpowiednich warunkach osiągnąć może prawie prędkość światła, tj. 300.000 kilometrów na sekundę.

Doświadczenia.

Tę ich prędkość potwierdziły oczywiście bardzo liczne doświadczenia; a inna seria doświadczeń umożliwiła fizykom wyznaczenie rozmiarów cząstek. Aby dać czytelnikowi pojęcie o tym, jak uczeni osiągają swe niepokojące wyniki, wystarczy, jeżeli opiszemy tylko jedno z tych doświadczeń.

Mgła w wielkich miastach jest, jak to na ogół wiadomo, dlatego tak gęsta, że para wodna skrapla się na cząstkach kurzu i dymu, które się unoszą w atmosferze. Ten fakt wykorzystany został jako punkt wyjścia dla wielu pięknych doświadczeń. W małych, szklanych rurkach wytwarzano sztuczną mgłę wprowadzając do nich w różnych ilościach kurz, tak żeby nasycona para mogła się na nim skraplać. W końcu osią-

gano to, że drobne kropelki deszczu, każda z małą cząstką kurzu w środku, opadały na srebrne lustro i tam mogły być policzony. Była to metoda liczenia zupełnie niewidzialnych cząstek kurzu w rurce; otóż ta metoda została z powodzeniem zastosowana do nowych promieni. Jeszcze inną metodą było skierowanie wąskiego strumienia cząstek na ekran chemiczny. Ekran świeci na skutek bombardowania przez cząstki, a potężna soczewka rozdziela świecenie na poszczególne błyski, które można policzyć.

Jednym słowem, seria niezwykłych i pięknych doświadczeń, sprawdzonych we wszystkich wielkich laboratoriach świata, ustaliła naturę tych promieni. Są one strumieniem cząstek przeszło tysiąc razy mniejszych od najmniejszego znanego atomu. Masa każdej cząstki wynosi, według najnowszych i najsurowszych pomiarów, $\frac{1}{1840}$ masy atomu wodoru. Dominującą ich właściwością jest posiadanie naboju elektrycznego, toteż nazwa „elektron” przyjęła się ogólnie.

Klucz do wielu tajemnic.

Elektron jest atomem bezcielesnej elektryczności i posiada niesłychanie małą objętość. Elektrony są kluczem do wielu tajemnic materii. Elektrony w szybkim ruchu tłumaczą, jak zobaczymy, to, co rozumiemy przez „prąd elektryczny”, który do niedawna był uważany za jedno z najbardziej tajemniczych zjawisk przyrody.

„Co za dziwo mamy tutaj!” — powiada prof. R. K. Duncan. „Niewinnie wyglądająca szczypta soli, a przecież posiada szczególne właściwości, które przekraczają najfantastyczniejsze nawet wyobrażenia ludzi czasów dawnych; nigdzie bowiem nie znajdujemy w tekstach pisanych z przeszłości nawet wzmianki o możliwości istnienia tych rzeczy, które dziś uważamy za fakt ustalony. Ta oto szczypta soli wysyła ze swej powierzchni cząstki (tj. elektrony), posiadające niepojętą

prędkość ponad dwieście tysięcy kilometrów na sekundę, prędkość, która by wystarczyła na pięciokrotne okrążenie ziemi w ciągu jednej sekundy oraz posiadające przy tej prędkości masę tysiąc razy mniejszą od masy najmniejszego atomu znanego nauce. Ponadto są one naładowane elektrycznością ujemną; przechodzą na wylot poprzez ciała uważane za nieprzezroczyste ze względu na obojętność na wszelkie ich cechy z wyjątkiem gęstości; wywołują w ciemności świecenie ciał, w które trafiają; działają na kliszę fotograficzną; czynią powietrze przewodnikiem elektryczności; wytwarzają chmury w wilgotnym powietrzu; powodują chemiczne przemiany i dają swoje fizjologiczne reakcje. Któż dziś zdoła przepowiedzieć usługi, które wyświadczą ludzkości promienie beta radu!“

V

TEORIA ELEKTRONOWA CZYLI NOWE POGLĄDY NA MATERIE

Istnieje ogólna zgodność zapatrywań wśród chemików, fizyków i matematyków co do wniosków, które podaliśmy dotąd. Wiemy, że atomy materii — bądź samorzutnie, bądź pod wpływem bodźców zewnętrznych — uwalniają z siebie nieustannie elektrony i wobec tego zawierają w sobie elektrony. Mamy więc teraz zupełny dowód niezależnego istnienia atomów, a także elektronów.

Budowa atomu.

Jednak kiedy uczony usiłuje nam opowiedzieć, w jaki sposób elektrony tworzą atomy, to przechodzi on od faktów do spekulacji, i to do bardzo trudnych spekulacji. Weźmy literę „o“ tak, jak jest tu oto wydrukowana. W malutkiej banieczce z wodorem, nie większej niż ta litera są biliony atomów; i nie są złączone razem, a krążą tak swobodnie, jak tancerze po sali balowej. Prosimy fizyka, aby wziął pod uwagę jeden z tych drobnutkich atomów i opowiedział nam, jak jeszcze mniejsze elektrony są w nim rozmieszczone. Naturalnie może on tylko snuć wyobrażenia, domysły i hipotezy, które usiłuje dopasować do faktów i odrzuca je, jeśli nie pasują.

I tak Sir J. J. Thomson wyobrażał sobie, że elektrony są ułożone w warstwy (jak powłoki cebuli), wypełniające przestrzeń atomową. Ale to nie pasowało do faktów, toteż Sir E. Rutherford i inni wypracowali teorię, według której elektrony

krążyły dokoła jądra, podobnie jak planety naszego słonecznego układu obracają się dokoła słońca. Jest więc jakieś jądro, dokoła którego elektrony krążą? Elektron jest, jak widzieliśmy, atomem elektryczności; „ujemnej“ elektryczności, powinniśmy powiedzieć. Przedstawmy sobie te elektrony, jak poruszają się po orbitach z wielką prędkością. Otóż wysunięto przypuszczenie, że istnieje jądro „dodatnie“ elektryczności, które przyciąga do siebie krążące elektrony i w ten sposób tworzy stan równowagi, gdyż inaczej pouciekałyby one we wszystkich kierunkach. Najprostszym takim jądrem jest jądro wodoru, które nazwano „protonem“. Mamy więc dwa rodzaje elektryczności w atomie: dodatnią czyli jądro i ujemną czyli elektron.

Ale my tu ograniczymy się do faktów pozostawiając dotyczące ich teorie uczonym. Jest obecnie ogólnie przyjęte, że atom materii składa się z pewnej liczby elektronów, czyli nabójów elektryczności ujemnej, które skupia wokół siebie nabój elektryczności dodatniej. Nikt nie kwestionuje, że te elektrony są w stanie gwałtownego ruchu i że wobec tego wielka energia jest uwięziona w atomach materii. Powrócimy do tego później. Tutaj zwrócimy raczej uwagę na inne niezwykle odkrycie, które pomoże nam zrozumieć istotę materii.

Liczby atomowe.

Znakomity młody uczony, Moseley, który został zabity na wojnie, wykazał, że jeśli ustawimy atomy różnych substancji według ich wagi, to będą one zarazem ustawione według wzrastającej złożoności swej budowy. To znaczy, im cięższy jest atom, tym więcej elektronów zawiera. Atomy stopniowo rozbudowują się zawierając coraz to więcej elektronów poczynając od najlżejszego atomu, a skończywszy na najcięższym. Tutaj dość będzie powiedzieć, że biorąc pod uwagę pierwiastek za pierwiastkiem od najlżejszego

(wodór) do najcięższego (uran) Moseley znalazł dziwnie prawidłowy związek między nimi. Jeśli wodór reprezentowała liczba jeden, helium — dwa, lit — trzy, i tak dalej aż do uranu, to uran musiał mieć liczbę dziewięćdziesiąt dwa. To czyniło prawdopodobnym pogląd, że w przyrodzie istnieje dziewięćdziesiąt dwa pierwiastki — znaleziono je wszystkie, z wyjątkiem jednego lub może dwóch — i że liczba wprowadzona przez Moseleya jest liczbą elektronów krążących w atomie każdego pierwiastka, co zostało przez wiele innych doświadczeń w zupełności potwierdzone. Liczbę tę nazywamy „liczbą atomową“ danego pierwiastka. Będzie jeszcze o niej poniżej mowa.

Nowy pogląd na materię.

Widzimy więc już w pewnym stopniu, na czym polega ów nowy pogląd na materię. Każdy atom materii, jakiegokolwiek bądź rodzaju i gdziekolwiek we wszechświecie, zbudowany jest z elektronów oraz jądra. Poczynawszy od najmniejszego ze wszystkich atomów, atomu wodoru, który się składa z jednego elektronu krążącego dokoła dodatnio naładowanego jądra, aż do ciężkich skomplikowanych atomów, jak np. atom złota, składający się z wielu elektronów i jądra o złożonej budowie, mamy wyłącznie do czynienia z dodatnimi i ujemnymi jednostkami elektryczności. Elektron i proton są cząstkami elektryczności. Wszelka materia jest więc przede wszystkim przejawem elektryczności. Atomy materii, jak widzieliśmy, łączą się i tworzą cząsteczki. Atomy i cząsteczki są cegiełkami, z których przyroda zbudowała wszystko: nas samych, ziemię, gwiazdy, cały wszechświat.

Lecz czegoś więcej potrzeba niż cegieł, aby zbudować dom. Są jeszcze inne podstawowe istności, takie jak rozmaite formy energii, w związku z którymi powstają bardzo złożone zagadnienia. Musimy także pamiętać o tym, że istnieje ponad dzie-

więćdziesiąt różnych pierwiastków, z których każdemu odpowiada określony typ atomu. Energią zajmimy się później. Tymczasem trzeba zaznaczyć jeszcze, że chociaż wiemy bardzo wiele o elektryczności i o budowie materii, i chociaż fizycy dnia dzisiejszego zdają się widzieć możliwość wyjaśnienia wszelkich przejawów dodatniej i ujemnej elektryczności, to jednak istota ich obu jest nieznana. Istnieją teorie, które głoszą, że cząstki dodatniej i ujemnej elektryczności, z których składają się atomy materii, są ośrodkami zaburzeń w jakimś uniwersalnym eterze, i że rozmaite formy energii są w jakiś podstawowy sposób postaciami tej samej pra-istności, z której powstaje materia.

Promieniotwórczość.

Z odkryciem promieniotwórczości powstało wiele innych interesujących kwestii, oprócz tych, którymi zajmowaliśmy się przed chwilą. Pierwiastki promieniotwórcze, takie jak np. uran, rozpadają się: w tym, co nazywamy promieniotwórczością, mamy przejaw samorzutnej przemiany pierwiastków. Zachodzi tu w rzeczywistości przemiana jednego pierwiastka w drugi, cięższego w lżejszy. Pierwiastek uran staje się samorzutnie radem, a rad, po przejściu szeregu etapów pośrednich, staje się znowu ołowiem. Każdy pierwiastek pochodny ma mniejszy ciężar atomowy, niż pierwiastek go poprzedzający. Proces przemiany jest oczywiście bardzo powolny. (Jak zobaczymy później, praktycznie każdy pierwiastek można sztucznie uczynić promieniotwórczym.)

Jednakowoż jest jeszcze inna strona tego zagadnienia, którą odkrycie promieniotwórczości uwidocznilo i która sprawila przewrót w naszych poglądach. Widzieliśmy, że w substancjach promieniotwórczych pierwiastki się rozpadają. Czy istnieje także proces odwrotny? Jeżeli atomy o budowie bardziej złożonej rozpadają się na prostsze, to czyż nie może istnieć i pro-

ces odwrotny, przemiana pierwiastków prostszych w bardziej złożone? (W pewnym stopniu, jak zobaczymy, i to udało się osiągnąć sztucznie.)

Jest na ziemi dzisiaj jakieś dziewięćdziesiąt kilka chemicznych pierwiastków: czy są one wynikiem nieorganicznej ewolucji, w której pierwiastek powstaje z pierwiastka, i w której posuwając się wstecz można by dotrzeć do jakiejś pra-substancji, skąd wszystkie one pierwotnie powstały nieskończenie dawno temu? Czy istnieje ewolucja w świecie nieorganicznym, która postępuje naprzód równolegle do ewolucji istot żywych, czy też może ewolucja organiczna jest dalszym ciągiem nieorganicznej? Nie możemy tu głębiej w to wnikać, a zresztą nie nadszedł jeszcze czas na jakiegokolwiek bezpośrednie stwierdzenia w tej sprawie, które mogłyby być oparte na odkryciach badań nowoczesnych.

VI

INNE NOWE POGLĄDY

Możemy tu wspomnieć o innej nowej koncepcji, która powstała w związku z odkryciem promieniotwórczości. Lord Kelvin, który oszacował wiek ziemi na dwadzieścia milionów lat, otrzymał tę liczbę traktując ziemię jako ciało, które stopniowo się oziębia, z prędkością dającą się obliczyć, tracąc swe ciepło pierwotne, podobnie jak bochenek wyjęty z pieca. Uran i promieniotwórczość nie były znane Kelvinowi i odkrycie ich obaliło oba jego założenia. Substancje promieniotwórcze, które wydzielają wciąż z siebie ciepło, wprowadzają zupełnie nowy czynnik. Nie możemy obecnie zakładać, że ziemia musi się oziębiać; możliwe jest nawet, na zasadzie tego co wiemy, że staje się ona gorętsza. W roku 1921, na jednym ze zjazdów naukowych, prof. Rayleigh stwierdził, że dalszy rozwój wiedzy rozszerzył okres, w ciągu którego istnieje już życie na ziemi, do miliarda lat, zaś całkowity wiek ziemi — do niewielkiej wielokrotności tej liczby. Ziemia, powiada on, nie oziębia się, a „zawiera wewnętrzne źródło ciepła pochodzącego z rozpadu uranu, który znajduje się w jej zewnętrznej powłoce“. Ogólnie biorąc otrzymane oszacowania wydają się być w zgodzie z oszacowaniami geologicznymi. W stanie obecnym naszej wiedzy nie można oczywiście rozstrzygnąć tej sprawy dokładniej, niż w zakresie, co do którego panuje zgoda ogólna.

Materia i energia.

Jak to powiedzieliśmy, istnieją jeszcze inne podstawowe istności, w związku z którymi powstają bardzo złożone zagad-

nienia. Dwoma wielkimi, podstawowymi istnościami w świecie fizycznym są materia i energia; o ile nam wiadomo, poza nimi nie ma nic. Zajmowaliśmy się materią, pozostaje energia. Zobaczymy, że nie istnieje nic takiego jak spoczynek. Każda cząstka naszej skorupy ziemskiej znajduje się w stanie wieczystego, nieprzerwanego drgania; energia „jest uniwersalnym towarem, od którego całe życie zależy“. Choć te dwie podstawowe istności — materia i energia — mogą się wydawać bardzo odrębne i różne, to jednak są one prawdopodobnie tylko różnymi i tajemniczymi postaciami zasadniczej „jedności“ wszechświata.

Nowa wiedza.

Kończąc ten rozdział nowej wiedzy przytoczmy jeden jedyny przykład na to, w jaki sposób ta nowa wiedza może okazać się równie wartościowa pod względem praktycznym, jak zadziwiająca pod względem intelektualnym. Widzieliśmy, że elektrony są wystrzeliwane z atomów z prędkością, która się może zbliżać do 300.000 kilometrów na sekundę. Sir Oliver Lodge pisał nie tak dawno, że jedna tysięczna grama radu wyrzuca z siebie trzydzieści milionów elektronów na sekundę, pędzących tysiąckrotnie szybciej od pocisku. Prof. Le Bon obliczył, że trzeba by 1,340.000 beczek prochu, aby nadać pociskowi prędkość jednego z tych elektronów. Wykazuje on, że najmniejsza francuska moneta miedziana zawiera energię równą osiemdziesięciu milionom koni parowych. Kilka kilogramów materii zawiera więcej energii, niżby się dało wydobyc przez spalenie milionów ton węgla!

Przyszłość.

Każdy zapyta od razu: „Czy nauka kiedykolwiek położy rękę na tej energii?“ Jeśli tak, to nie będzie dymu, ko-palni, ciężkiego paliwa. Atom uwalnia energię tylko wte-

Z czego zbudowany jest świat



dy, kiedy przechodzi z jednego stanu do innego. Nagromadzoną energię na szczęście mocno wiąże z atomem elektrony, które znowu trzymają się razem w sposób wyżej opisany. Gdyby tak nie było, ziemia by wybuchła i stała się gazową mgławicą. Panuje przekonanie, że kiedyś będziemy w stanie uwolnić, okiełznać i użytkować tę energię. „Jestem zdania” — powiada Sir William Bragg — „że energia atomowa będzie zaspokajać nasze przyszłe zapotrzebowanie. Tysiąc lat minie może zanim okiełznamy atom, ale może także już dzień jutrzejszy ujrzy nas z cugłami w ręku. Jest to swoistą właściwością fizyki, że praca badawcza i „przypadkowe” odkrycie idą ręką w rękę.” Pół cegły zawiera tyleż energii, co mała kopalnia węgla. Trudności są olbrzymie, ale jak nam przypomina Sir Oliver Lodge, równie wielki sceptycyzm panował w swoim czasie, co do użytkowania pary albo elektryczności. „Czy należy przypuszczać” — zapytuje on — „że nie może już być żadnego nowego wynalazku, że wszystkie wielkie odkrycia zostały już dokonane?” Niejeden uczony każe nam mieć nadzieję, że tak nie jest.

Zanim przejdziemy do rozpatrzenia eteru, światła i energii, pokażmy, jakie nowe światło rzuciło odkrycie elektronu na istotę elektryczności i operowanie elektrycznością.

VII

CZYM JEST ELEKTRYCZNOŚĆ?

Jest co najmniej jedno zjawisko w przyrodzie — jeszcze trzydzieści lat temu wydające się jednym z najbardziej tajemniczych zjawisk w ogóle, — które w dużej mierze zostało wytłumaczone przez nowe odkrycia. Już na początku tego stulecia mówiło się o „wieku elektryczności”, a przecie niewiele było rzeczy w przyrodzie, o których byśmy mniej wiedzieli. „Prąd elektryczny” poruszał dzwonki, ciągnął pociągi, oświetlał pokoje, ale nikt nie wiedział, czym ten prąd jest. Miało się niejasne wyobrażenie, że jest czymś w rodzaju płynu, który płynie wzdłuż miedzianych drutów jak woda w rurze. Obecnie przypuszczamy, że jest on szybkim ruchem elektronów od atomu do atomu w drucie.

Spróbujmy pojąć zasadę nowego poglądu na elektryczność i przyjrzeć się temu, jak się ją stosuje do tych najrozmaitszych zjawisk elektrycznych w świecie nas otaczającym. Jak widzieliśmy, jądro atomu materii jest elektrycznie dodatnie i skupia wokół siebie pewną liczbę elektronów, czyli nabojów elektryczności ujemnej.¹ To nam bez wątpienia mówi w pewnym

¹ Słowa „dodatnia” i „ujemna” elektryczność pochodzą z czasów, kiedy uważano ją za płyn: płyn „dodatni” i płyn „ujemny”. Ciało naładowane elektrycznością dodatnią — to takie, które zawiera więcej płynu dodatniego, niż płynu ujemnego; z ciałem naładowanym ujemnie jest oczywiście naodwrot. Ciało elektrycznie neutralne (nie naładowane) — to takie, które zawiera równe ilości obu płynów). Według poglądów dzisiejszych, ciało naelektryzowane dodatnio — to takie, którego atomy pozbawione zostały części swych elektronów, tak że nabój elektryczny dodatni przeważa. Ciało naelektryzowane ujemnie — to takie, które zawiera więcej niż normalną liczbę elektronów.

stopniu, czym jest elektryczność i jaki jest jej związek z materią, ale nie usuwa zwykłych trudności, dotyczących pojęć podstawowych. W każdym razie wiemy, że elektryczność, podobnie jak materia, posiada budowę atomistyczną: każdy nabojelektryczny składa się z pewnej liczby małych jednostek, czyli nabojelektrycznych o określonej, niezmienniej wielkości, (równej nabojelektryczności elektronu).

Odkrycie tych dwóch rodzajów elektryczności pozwoliło nam zrozumieć wcale nieźle, co zachodzi w zjawiskach elektrycznych. Elektrony, jak widzieliśmy, mogą wędrować od atomu do atomu i na tym polega właśnie prąd elektryczny. Innymi słowy, przyjmujemy, że prąd elektryczny jest strumieniem elektronów.

Przewodnictwo elektryczne.

Jak wiemy, taki strumień elektronów ma dosyć siły na to, żeby spowodować dzwonienie dzwonka. Nie będziemy tu opisywać mechanizmu aparatów, które przekształcają energię prądu elektronów w dźwięk albo w ciepło lub w światło. Obchodzi nas tutaj tylko zasada, która jest przecież jasna. Jeśli chcemy, żeby dzwonek dzwonił, to musimy go połączyć z jakimś źródłem prądu elektrycznego np. z dobrze znaną każdemu „baterią“, tak żeby bateria, dzwonek i guzik od dzwonka stanowiły jeden obwód. Tych połączeń dokonywamy za pomocą drutu miedzianego, gdyż w miedzi mogą elektrony szczególnie łatwo posuwać się. Dotyczy to i innych metali, lecz miedź jest jednym z najlepszych „przewodników“. Naciskając guzik od dzwonka, sprawiamy, że obwód staje się „zamknięty“, czyli że nie ma w nim żadnej przerwy, dzięki czemu prąd elektronów może podążać wzdłuż obwodu; a w dzwonku zaś energia tego prądu przekształca się w energię dźwięku.

Miedź jest dobrym przewodnikiem, sześć razy lepszym od żelaza, i dlatego używa się jej powszechnie w elektrotechnice. Niektóre inne substancje są równie odporne prądowi, jak miedź jest mu powolna; nazywamy je „izolatorami“. Przeciwnie stawiają się mu one zamiast pozwolić mu płynąć. Np. szkło i porcelana są bardzo dobrymi izolatorami.

Dynamomaszyna.

Wspomnieliśmy przed chwilą o baterii elektrycznej, ale nawet kilka takich baterii łącznie nie wytwarza prądów, wystarczających na potrzeby współczesnego przemysłu. Prądy takie otrzymuje się w zupełnie inny sposób. Niewidoczne elektrony wędrując wzdłuż drutu wytwarzają wokół niego to, co nazywamy „polem magnetycznym“: jest to pewnego rodzaju zaburzenie w otaczającym eterze. Ściśle mówiąc, właśnie eter otaczający drut przenosi energię, mającą swe źródło w elektronach. Aby spowodować ruch elektronów na wielką skalę, używamy „dynamomaszyn“. Za pomocą dynamomaszyny można przekształcać energię mechaniczną w energię elektryczną. Nowoczesna dynamomaszyna jest, według słów prof. Soddy, jak gdyby pompą elektronową. Nie możemy tutaj zagłębiać się w tę rzecz, powiemy tylko, że najważniejszym w dynamomaszynie jest szybki obrót wielkiej cewki z miedzianego drutu między biegunami potężnego magnesu. Za chwilę powiemy, czym się różni magnetyzm od elektryczności, a tu dodamy jeszcze tylko to, że dokoła biegunów każdego magnesu eter ulega zaburzeniu, które w chwili, kiedy się wsuwa miedź między bieguny, powoduje w niej gwałtowny ruch elektronów. W chwili wyjmowania drutu miedzianego pomiędzy bieguny magnesu powstaje również prąd elektronów, lecz w przeciwnym kierunku. Podobnie szybki obrót cewki z drutu w dynamomaszynie ma ten skutek, że wytwarza się

potężny prąd elektryczny, który co chwila zmienia swój kierunek: jest to prąd „przemienny”. Elektrotechnika zna sposoby przetworzenia tego prądu na prąd o wciąż tym samym kierunku, czyli na prąd „stały”.

Energia elektromagnetyczna.

Widzieliśmy, że prąd elektryczny jest w rzeczywistości strumieniem elektronów. Otóż prądowi elektrycznemu towarzyszą zjawiska magnetyczne. Otaczająca prąd przestrzeń zawiera energię, którą nazywamy energią elektromagnetyczną. Kawałek namagnesowanego żelaza, przyciągający inne kawałki żelaza, — oto jak sobie zazwyczaj wyobrażamy magnes. Jeśli przez kawałek tektury przeprowadzimy prostopadle do niej drut, a tekturę posypimy opiłkami żelaznymi, to, jeśli w drucie płynie prąd elektryczny, opiłki ułożą się na tekturze wzdłuż kręgów dokoła drutu. Siła magnetyczna, spowodowana przez prąd elektryczny, działa wzdłuż kręgów zakreślonych dokoła drutu. Nawet pojedynczy elektron, jeśli się porusza, wytwarza wokół swego toru pole magnetyczne. Nie ma ruchu elektronów bez tego towarzyszącego mu pola energii, ale i na odwrót, jeśli elektrony znajdują się w takim polu energii, to nie mogą pozostawać w spoczynku. Nowoczesna teoria magnetyzmu przyjmuje, że wszelki magnetyzm powstaje w ten sposób. Przyjmuje się, że wszelki magnetyzm pochodzi od wirowych ruchów elektronów zawartych w atomach materii. Nie możemy tu wchodzić w szczegóły teorii ani na przykład tłumaczyć, dlaczego żelazo zachowuje się tak bardzo inaczej od pozostałych substancji, ale wystarczy powiedzieć, że i w tym wypadku teoria elektronowa dostarcza odpowiedzi. Kula ziemiska jest także gigantycznym magnesem, co umożliwia stosowanie kompasu. Jest rzeczą znaną, że na magnetyzm ziemi mają silny wpływ te wielkie wybuchy na słońcu, które nazywamy

plamami słonecznymi. Są one wielkimi elektronowymi cyklonami i mają silne działanie magnetyczne. Jest niewątpliwy związek między tymi wybuchowymi przejawami działalności elektronów, a odpowiednimi zmianami magnetyzmu ziemskiego. Dokładny mechanizm tego związku jest jednak dopiero przedmiotem badań.

VIII

ETER I FALE

Każdy jest mniej lub więcej obeznany z pojęciem „eteru“. Wszędzie znajdujemy wzmianki o tym rozległym ośrodku, który ma wypełniać całą przestrzeń i który przepuszcza światło, promieniowanie cieplne oraz fale radiowe. Dowody istnienia eteru wydają się nieodparte. Wiemy na przykład, że światło jest ruchem falowym i że na rozchodzenie się potrzebuje ono czasu. Trzeba około ośmiu minut, aby światło doszło ze słońca do ziemi. A w jakiej postaci istnieje światło w przestrzeni międzyplanetarnej? Jeśli jest ono ruchem falowym, to musi być ruchem falowym czegoś. Nie możemy sobie wyobrazić fal bez czegoś, co faluje. To coś jest właśnie tym, co uczeni nazywają eterem. Jest to ten sam eter, który przenosi fale radiowe, promienie X i w ogóle energię promienistą we wszelkiej postaci.

Jak się więc to dzieje, że wielu uczonych współczesnych neguje istnienie eteru? W dziewiętnastym stuleciu uczeni mieli nadzieję wytłumaczenia wszystkiego za pomocą eteru. Nie tylko energię promienistą, ale i samą materię chciano sprowadzić do przejawów eteru. Dlaczego wyrzeczono się tej nadziei? Dlaczego ta wielka naukowa koncepcja stała się tak niemożliwa? Otóż dlatego, że nie możemy uzyskać żadnego bezpośredniego dowodu istnienia eteru. Wszystkie doświadczenia, mające na celu stwierdzenie obecności eteru, zakończyły się niepowodzeniem.

Eter jako rodzaj galarety.

Jeśli zechcemy w dalszym ciągu twierdzić, że eter istnieje, to musimy zgodzić się i na to, że przyroda uknuła bardzo chy-

try i szeroko rozprzestrzeniony spisek aby nam uniemożliwić wykrycie istnienia eteru. Teoria względności jest bezpośrednią konsekwencją faktu, że nie ma doświadczenia, które by nam pozwoliło na wykrycie istnienia eteru. Każde z dokonanych doświadczeń, elektrycznych, optycznych, czy jeszcze innego rodzaju, było niepowodzeniem. Trzeba było wynajdować specjalne powody, aby wyjaśnić każde z tych niepowodzeń. Ten proces stawał się coraz bardziej nieprzekonywujący, w miarę jak posuwał się naprzód, aż wreszcie zrodziła się świetna myśl, że eteru nie można wykryć, bo on w ogóle nie istnieje.

Aby zrozumieć ten punkt widzenia, musimy zwrócić uwagę na przemianę, którym ulegała teoria eteru. Eter początkowo był uważany za „rodzaj powietrza“ mówiąc słowami Newtona. Był wymyślony po to, aby wytłumaczyć te wszystkie zjawiska, których nie udało się wyjaśnić za pomocą zwykłych praw ruchu, jak np. zjawiska przyciągania elektrycznego i magnetycznego. Ale przedmiotem poważnych badań naukowych stał się dopiero wtedy, kiedy odwołano się doń, aby wytłumaczyć zjawiska optyczne. Odkryto, że światło zachowuje się jak ruch falowy i wtedy przyjęto, że właśnie eter jest ośrodkiem, w którym rozchodzą się te fale. Ale ten eter był najzupełniej różny od eteru wymyślonego przez Newtona. Można było dowiedzieć, że eter gazowy nie tłumaczy rozchodzenia się światła. Trzeba było sobie wyobrazić eter jako rodzaj galarety. Drgania tej galarety miały stanowić światło.

Halucynacje obłąkanego inżyniera.

Pojęcie to nie mogło być oczywiście pozostawione w tej niejasnej postaci. Jakies pojęcie jest wtedy dopiero pojęciem naukowym, kiedy zostaje dokładnie sprecyzowane. Oto więc tutaj zaczęła się robota dla teoretyków. Mieli oni za zadanie wyprowadzić te wszystkie własności drgającego „sprężystego ciała stałego“, które by mogły wyjaśnić pod każdym względem

zjawiska optyczne. Otóż nigdy się im to nie udało. Prawie że niepojęte ilości wysiłku i wynalazczości włożono w pracę nad tym zagadnieniem, a jednak nigdy nie zostało ono rozwiązane w zupełności. Własności, które trzeba było przypisać eterowi, stawały się coraz bardziej i bardziej niezwykle, aż wreszcie zaczął on być podobny do halucynacji jakiegoś obłąkanego inżyniera.

Kiedy Maxwell opublikował swe wielkie odkrycie, że fale świetlne i fale elektromagnetyczne są w istocie tym samym, czyli że fale świetlne są po prostu bardzo krótkimi falami elektromagnetycznymi, zadanie teoretyków stało się czymś niemożliwym. Wymyślali oni coraz to nowe etery, które były jakimiś nieprawdopodobnymi zlepkami obracających się ciał, wirów i różnych innych ingrediencyj, ale żaden z tych eterów nie pasował do teorii Maxwella. W końcu zaniechano usiłowań, aby skonstruować eter o odpowiednich własnościach. W dalszym ciągu przyjmowano, że istnieje eter, w którym rozchodzą się fale świetlne, ale w jaki właściwie sposób rozchodziły się w nim one, tego nikt nie wiedział.

Ale chociaż nikt dokładnie nie wiedział, jak wygląda zachowanie się eteru, to również nikt poważnie nie wątpił o jego istnieniu. I uważano, że powinno być możliwe doświadczalnie uzyskać bezpośredni dowód jego istnienia. Bowiem ziemia w swej wędrówce dokoła słońca porusza się poprzez eter ze znaczną prędkością. Czy można obmyśleć doświadczenia stwierdzające ten ruch? Wykonano kilka takich doświadczeń z zamiarem wykrycia ruchu ziemi względem eteru. Niektóre z nich były elektryczne, niektóre — optyczne. Żadne z nich nie wykryło jakiegokolwiek ruchu ziemi poprzez eter.

Logiczny wniosek.

Czy byłoby więc możliwe, że ziemia unosi z sobą eter znajdujący się w jej sąsiedztwie? Nie, takiego wyjaśnienia nie mo-

żna było przyjąć. Byłoby bowiem sprzeczne z pewnymi bardzo dobrze sprawdzonymi wynikami astronomii. Uczni znależli się więc w tej nieznośnej sytuacji, że na zasadzie pewnych doświadczeń musieli orzec, że eter porusza się wraz z ziemią, a na zasadzie innych — że eter nie porusza się wraz z ziemią. Okazało się, że eter wymyka się wszelkiej obserwacji i jest nie do wykrycia. Ale jeśli eter jest nie do wykrycia, to dlaczego nie wyrzec się założenia, że istnieje?

To właśnie uczynił Einstein, publikując swoją teorię względności. Nie obalał on twierdzenia, że eter istnieje, a po prostu istnienie eteru zignorował. Przyszedł on do przekonania, że świetnie można sobie dać radę bez eteru, a z eterem z pewnością — nie. Czy musimy więc przyjąć, że hipoteza eteru została obalona? Czy mamy więc do czynienia wyłączenie z bryłami materii, pędzącymi w pustej przestrzeni? A cóż się stanie ze starym zagadnieniem rozchodzenia się światła?

Nowy sens słowa „eter“.

Trzeba od razu powiedzieć, że odpowiedzi na te pytania nie są jeszcze doskonale jasne. Przede wszystkim „przestrzeń“ teorii Einsteina ma bardziej różnorodne i skomplikowane własności niż przestrzeń dawnych teorii. Dlatego można mówić o przestrzeni Einsteina jako o eterze, jeśli się chce zachować słowo „eter“. Na przykład w taki sposób używa tego słowa prof. Eddington. Ale ten eter nie ma prawie nic wspólnego z dawnym eterem: nie przypomina on w najmniejszym stopniu gigantycznej galarety wypełniającej przestrzeń, a jest po prostu przestrzenią, ale przestrzenią skomplikowanego rodzaju.

Co się tyczy rozchodzenia się światła, to sprawa ta nie została jeszcze rozstrzygnięta. Stara teoria falowa tłumaczy bardzo dużo. Ale są bardzo ważne niedawno odkryte zjawiska, których nie tłumaczy wcale. Istnieje jednak teoria, „teoria

kwantów“, która je tłumaczy, ale ma za to trudności z wytłumaczeniem pewnych zjawisk, doskonale zrozumiałych na gruncie teorii falowej.

Hipoteza.

Eter został wymyślony, aby wytłumaczyć zjawiska optyczne i zdać sprawę z przepływu energii przez pustą przestrzeń. Światło potrzebuje czasu na rozchodzenie się. Widzimy jak słońce wschodzi dopiero w osiem minut po chwili, w której rzeczywiście weszło. Trzeba było ośmiu minut na to, aby światło przewędrowało te 149,000.000 kilometrów, które dzielą słońce od ziemi. Oprócz faktu, że światło potrzebuje czasu na rozchodzenie się, można wykazać, że rozchodzi się ono w postaci fal. Wiemy, że dźwięk rozchodzi się falowo: dźwięk — to są fale w powietrzu, wodzie, drzewie, czy też jakimkolwiek innym ośrodku, przez który go słyszymy. Jeśli włożymy dzwonek elektryczny pod szklany klosz i z klosza tego zaczniemy wypompowywać powietrze, to dźwięk dzwonka będzie się stawał coraz słabszy, aż wreszcie, kiedy dostatecznie dużo powietrza usuniemy, przestaniemy go słyszeć w ogóle. Dźwięk nie może rozchodzić się w próżni. Jednak w dalszym ciągu widzimy dzwonek, a więc najwidoczniej światło może rozchodzić się w próżni. Ten niewidzialny ośrodek, poprzez który rozchodzą się fale świetlne, — to eter, a ten eter przenika całą przestrzeń i wszelką materię. Pomiędzy nami i gwiazdami znajdują się olbrzymie obszary wolne od wszelkiej materii. A jednak widzimy gwiazdy; ich światło nas dosięga, nawet jeśli potrzeba na to wielu stuleci. Wyobrażamy więc sobie, że to w tym wszechobecnym eterze rozchodzi się światło. Cała ta energia słoneczna, która dosięga ziemię i którą, nagromadzoną przez wieki w pokładach węgla, zużytkowuje się obecnie, aby poruszać pociągi i okręty, ogrzewać i oświetlać miasta, oraz dokonywać jeszcze wielu innych zadań życia no-

woczesnego, przeniesiona została przez eter. Bez tego uniwersalnego nośnika energii świat byłby martwy. Na tym polegała więc hipoteza; widzieliśmy wyżej, w jakim stopniu trzeba było zmodyfikować te poglądy.

Fale świetlne.

Powiedzieliśmy, że światło to są fale, i że „eter“ może przenosić drgania. Fale świetlne, mierzone od grzbietu do grzbietu, są nadzwyczaj małymi zmarszczkami. Odległość od grzbietu do grzbietu zmarszczki na wodzie sadzawki często nie przekracza kilku centymetrów. Odległość ta jest olbrzymia w porównaniu z długością najdłuższych fal, które stanowią światło. Mówimy najdłuższych, bo fale świetlne bywają różnej długości; barwa zależy od długości fali świetlnej. Światło czerwone ma najdłuższe fale, zaś fioletowe — najkrótsze. Najdłuższe fale, fale czerwonego światła, mają długość ośmiu stutysięcznych centymetra. Jest to dwa razy więcej, niż długość fali światła fioletowego, która wynosi cztery stutysięczne centymetra. Ale fale świetlne, czyli fale, które działają na oko, nie są jedynymi falami niesionymi przez eter. Fale za krótkie na to, aby działać na oko, działają na kliszę fotograficzną i w ten sposób możemy wykryć istnienie fal dwa razy krótszych od fal światła fioletowego. Preparując odpowiednio klisze fotograficzne można wykryć jeszcze krótsze fale, aż wreszcie dochodzi się do tych nadzwyczaj krótkich fal, jakimi są fale promieni X.

Poniżej kresu widzialności.

Ale możemy rozszerzyć zakres naszych badań i w innym kierunku; okazuje się, że eter przenosi wiele fal dłuższych, niż fale świetlne. Specjalne emulsje fotograficzne pozwalają na wykrycie istnienia fal pięciokrotnie dłuższych od fal światła fioletowego, fal „podczerwonych“. Fale podczerwone są

poniżej kresu widzialności i mogą być także wykryte jako fale cieplne. Promieniowanie cieplne, jak i ciepło rozchodzące się od ognia, jest także pewną postacią ruchu falowego w eterze, ale fale, odczuwane przez nasze zmysły jako ciepło, są dłuższe od fal świetlnych. Istnieją fale jeszcze dłuższe, ale nasze zmysły nie odczuwają ich wcale. Możemy je natomiast wykryć za pomocą przyrządów. Są to fale używane w radiotechnice, a ich długość w niektórych przypadkach mierzy się w kilometrach. Nazywamy je falami radiowymi. Światło, promieniowanie cieplne i fale radiowe są tej samej natury a mianowicie są tzw. falami elektromagnetycznymi; różnią się między sobą tylko długością fali.

Jeśli więc światło jest ruchem falowym w eterze, to cóż te fale powoduje? Rzecz, która jest źródłem tak zadziwiająco szybkiego ciągu fal, musi być w każdym razie czymś potężnie drgającym. Powracamy do elektronu: wszystkie atomy materii, jak widzieliśmy, składają się z elektronów, krążących po określonych orbitach dokoła jądra. Elektrony te mogą podlegać działaniom zewnętrznym, ich prędkość lub drgania mogą być zwiększone.

Elektrony i światło.

Cząstki nawet zimnego kawałka żelaza nieustannie drgają. Nie posiadamy nerwów zdolnych do odczucia i odnotowania fal, które te cząstki wysyłają, ale ten oto zimny pogrzebacz w rzeczywistości promieniuje, wysyłając ciągi fal we wszystkie strony. Po tym, czegośmy się dowiedzieli o naturze materii, nikogo to nie zadziwi. Włóżmy na chwilę pogrzebacz w ogień. Cząstki rozżarzonego węgla, będące w gwałtownym ruchu, udzielają części swej energii cząstkom żelaza w pogrzebacz, które poruszają się teraz szybciej i wysyłają fale zdolne podzielać na nasze nerwy i spowodować wrażenie ciepła. Włóżmy znowu pogrzebacz w ogień tak, żeby temperatura jego

podniosła się do 500° C. Zaczyna się on żarzyć ciemną czerwienią. Cząstki poruszają się teraz bardzo gwałtownie, a fale przez nie wysyłane są tak krótkie, że mogą być uchwycone okiem: mamy widzialne światło. Ale nie podzielałyby one jeszcze na zwykłą kliszę fotograficzną. Ogrzejmy żelazo jeszcze więcej, a elektrony zaczną wysyłać fale rozmaitych długości, które mieszając się razem, tworzą światło białe. Rozżarzymy żelazo „do białości“, to będzie ono dawać oprócz światła także i fale niewidzialne, które powodują zmiany w emulsji kliszy fotograficznej. A poza tymi falami istnieje długi szereg fal jeszcze krótszych, aż do promieni X, które przechodzą poprzez atomy ciał żywych lub kamieni.

Prędkość światła.

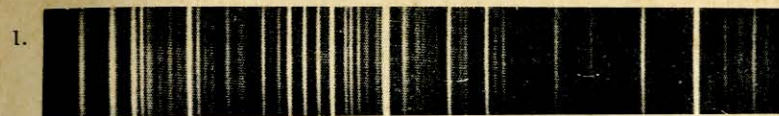
Przeszło dwieście pięćdziesiąt lat temu wykazano, że światło rozchodzi się co najmniej 600.000 razy prędzej niż dźwięk. Planeta Jowisz ma, jak wiadomo, księżyce, które dokoła niej krążą. Chowają się one za jej tarczą, po czym ukazują się znowu z drugiej strony. Obserwujemy to, jako zaćmienia jowiszowych księżyców. Jeden z nich znika za tarczą Jowisza regularnie co 42½ godziny. Wyobraźmy sobie teraz, że astronom odnotowuje chwilę, w której zachodzi takie znikanie jowiszowego księżycy, wtedy kiedy ziemia znajduje się w najbliższej możliwej odległości od Jowisza. Począwszy od tej chwili nasz astronom liczy cierpliwie zaćmienia przez mniej więcej pół roku. I zdawałoby się, że jeśli zwróci on teraz swą lunetę w kierunku Jowisza, to dokładnie w momencie, kiedy od odnotowanej chwili upływa czas równy liczbie zaćmień razy 42½ godziny, ujrzy on znowu zniknięcie jowiszowego księżycy. Tymczasem w rzeczywistości jest inaczej: zniknięcie następuje o kilkanaście minut później. Dlaczego? Po prostu dlatego, że po upływie pół roku ziemia znalazła się znacznie

dalej od Jowisza i że światło potrzebuje tyle czasu na przebycie dodatkowej odległości. Podówczas odległość ta była niedokładnie znana i prędkość światła przeceniono. Obecnie odległość znamy i obliczamy stąd łatwo prędkość światła.

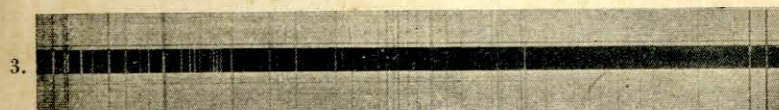
Niewątpliwie znacznie bardziej zadziwiające wydaje się dokonanie pomiaru wewnątrz ścian laboratorium, co rzeczywiście zostało dokonane, ale dopiero w roku 1850. Koło zębate ustawia się w ten sposób, żeby promień światła przeszedł pomiędzy dwoma zębami i odbił się w zwierciadle. Otóż, chociaż światło przebiega tę odległość w ciągu drobnego ułamka sekundy, to jednak jest możliwe nadać kołu taką szybkość obrotową, żeby promień światła trafił na swej drodze powrotnej w najbliższy ząb i został odcięty. Następnie zwiększa się szybkość jeszcze bardziej tak, żeby promień światła wracał do oka obserwatora przez wgłębienie najbliższe tego, przez które podążył ku zwierciadłu. Prędkość koła była znana, więc można było w ten sposób wyznaczyć prędkość światła. Jeśli najkrótsze fale widzialne mają długość $\frac{1}{25\,000}$ centymetra, zaś światło rozchodzi się z prędkością 300.000 kilometrów na sekundę, to każdy może sobie wyliczyć, że około 800 bilionów fal wchodzi do oka w ciągu sekundy, kiedy widzimy barwę fioletową.

Sortowanie fal świetlnych.

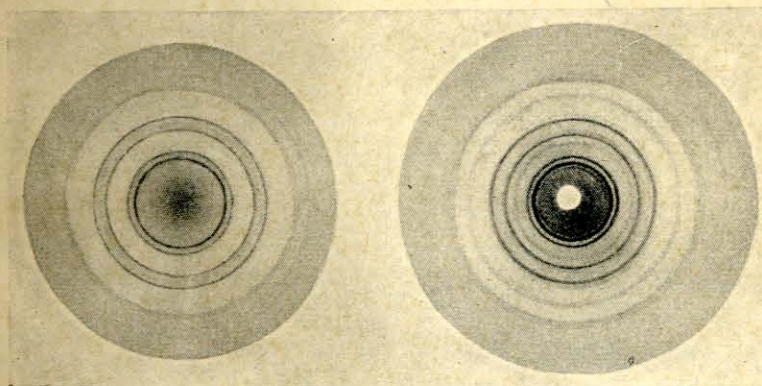
Fale, wysyłane we wszystkie strony przez zasobne w energię elektrony, stają się słabo widzialne, kiedy osiągają $\frac{1}{12\,500}$ centymetra. W miarę jak stają się krótsze, czyli w miarę wzrostu prędkości drgań elektronów, otrzymujemy kolejno barwy: czerwoną, pomarańczową, żółtą, zieloną, niebieską, indygo i fioletową. Różnym barwom odpowiadają różne długości fali. Kiedy wszystkie są razem zmieszane, tak jak w świetle słonecznym, otrzymujemy światło białe. Kiedy promień białego światła pada skośnie na boczną ściankę szklanego pryzmatu,



1. Część widma potasu. 2. Część widma jodu. Para jodu, która to widmo wysyła, składa się z dwuatomowych cząsteczek. Widzimy, że widmo to ma zupełnie inny charakter niż widmo potasu, wysyłane przez atomy, nie związane w cząsteczki.



3. Część widma słonecznego, z nałożonym nań dla porównania (środkowy pas) widmem żelaza. Widmo słoneczne poprzecinane jest charakterystycznymi ciemnymi prążkami; niektóre z nich przypadają dokładnie na przedłużeniu jasnych prążków żelaza (wyjaśnienie w tekście).



Z porównania tych dwóch zdjęć przekonujemy się naocznie, że elektrony zachowują się w pewnej mierze jak promieniowanie o typie falowym. Na lewo: zdjęcie otrzymane przez naświetlenie kliszy strumieniem elektronów, który uprzednio przepuszczony został przez cienką blaszkę srebrną. Na prawo: zdjęcie otrzymane przez naświetlenie kliszy wiązką promieni X (które — jak wiemy — są falami elektromagnetycznymi) uprzednio przepuszczoną również przez cienką blaszkę srebrną. Podobieństwo obu zdjęć jest uderzające. Zdjęcia tego rodzaju są charakterystyczne dla promieniowań o typie falowym; dlatego są one uważane za dowód falowej natury elektronu.

to fale różnej długości rozdzielają się przy przejściu przezeń i światło rozpościera się w pas o barwach tęczy. Fale zostają przesortowane, według swej długości, w tym „wyścigu z przeszkodami“ przez szkło. Każdy może to sam zobaczyć patrząc na światło słoneczne przez kryształowy pryzmat, który je rozdziela na barwy składowe od razu widoczne. Albo można zrobić inaczej. Jeśli namalujemy owe siedem barw na krążku, i krążek ten będziemy szybko obracać, to wyda się on szarobiały. Ale o p u ś c m y jedną z barw, to przy obrocie nie wyda się on już biały, a da wrażenie tej barwy, która odpowiada mieszaninie pozostałych sześciu. Inne jeszcze doświadczenie pokaże, że pewne ciała, kiedy się je trzyma między źródłem białego światła a okiem, przepuszczają nie wszystkie promienie, a zatrzymują niektóre; ciało, które zatrzymuje wszystkie barwy, prócz czerwonej, będzie dawało wrażenie czerwieni, a jeśli wszystkie — prócz fioletowej, to fiolet będzie barwą, którą się zobaczy.

Przyszły los świata.

Prof. Soddy dał ciekawy obraz tego, co może się zdarzyć, kiedy światło i ciepło słoneczne nie będzie już tym, czym jest. Oko ludzkie „przystosowało się poprzez wieki do właściwości światła słonecznego tak, żeby reagować najwięcej na tę długość fali, której jest najwięcej. Pozwólmy sobie przez chwilę na te posępne przewidywania co do skutków, jakie będzie miało dla ziemi stygnięcie słońca z biegiem wieków, przewidywania, które były tak modne, a którymi promieniotwórczość wstrząsnęła tak mocno. Naszkicujmy obraz przyszłych losów świata, kiedy słońce będzie ciemnoczerwoną kulą, albo nawet kiedy ostygnie ono tak dalece, że nie będzie już wysyłało do nas światła. To nie znaczy wcale, że świat będzie czarny jak atrament, i że słońce nie będzie wysyłać światła dla ludzi, którzy zamieszkiwać będą wtedy ten świat, jeśli w ogóle jacyś

pozostaną przy życiu i unikną zmarznięcia. Dla nich, jeśli oko w dalszym ciągu przystosowywać się będzie do zmieniających się warunków, nasze barwy niebieska i fioletowa staną się niewidzialnym nadfioletem, ale ciepło, dla nas ciemne, stanie się światłem, a rozgrzane, dla nas ciemne ciała, dla nich będą się świeciły“.

IX

JESZCZE O FALACH ŚWIETLNYCH

Zobaczymy później, jak spektroskop rozszczepia fale świetlne na poszczególne barwy. Ale przyroda nieustannie rozszczepia światło na różnej długości fale, na barwy. Tęcza, kiedy to gęsto zawieszone w powietrzu kropelki działają jak spektroskop, jest najlepiej znanym przykładem. Kawałek masy perłowej, albo nawet trochę smaru rozlanego na ulicy czy na wodzie, dają ten sam wynik. Atmosfera przez cały dzień sortuje fale. Niebo niebieskie nad naszymi głowami oznacza, że górna atmosfera wylapuje krótkie fale i je rozprasa. Możemy w każdej chwili zrobić w laboratorium bańkę pełną niebieskiego nieba. Piękna różowość Alp o wschodzie słońca, wspaniała czerwona zorza zachodu oznaczają, że kiedy promienie słońca, znajdującego się nisko nad horyzontem, muszą przebijać się przez grube warstwy powietrza, to jedynie fale czerwone przedostają się spośród wszystkich innych.

Wreszcie jest różnorodne oblicze przyrody, która, pochłaniając pewne fale a odbijając inne, tka swą piękną, barwną szatę. Tu i ówdzie jest czarna lata, która pochłania wszelkie światło. Białe powierzchnie odbijają je w całości. Co zostaje odbite, a co nie, to zależy od okresu drgań elektronów w danym rodzaju materii. W ogóle, kiedy strumień bilionów fal pada na elektrony, to pochłaniają one długie, średnie, albo krótkie fale, i tak powstaje zadziwiająca barwność przyrody. Ale są ciała, jak szkło, które przepuszczają całkowicie światło widzialne.

Światło bez ciepła.

Gdybyśmy mogli wytwarzać światło bez ciepła, nasze rachunki za elektryczność obniżyłyby się zadziwiająco. Jest to więc zagadnienie naukowe o wielkim praktycznym znaczeniu. Tak dużo energii zużywa się na wytworzenie fal ciepłych i nadfioletowych, których nie potrzebujemy, że przy oświetleniu 90 procent, albo i więcej energii idzie na marne. A nasze sztuczne światło jest nie tylko nadzwyczaj drogie, ale jeszcze często ubogie w barwy. Jakże często ktoś nieostrożny kupuje sobie ubranie przy sztucznym świetle i następnego ranka stwierdza z niezadowoleniem, że kolor ubrania wcale nie jest ten, jakiego chciał! Barwy ujawnionej przez słońce nie było w falach sztucznego światła. Obecnie czynione są próby rozwiązania tego zagadnienia światła bez ciepła. Niedawno wynaleziono lampę, w której świeci para metalu, sodu i w której większość zużytej energii idzie na oświetlenie. Ale ta sodowa lampa daje światło jednobarwne, żółte i wobec tego zakres jej stosowności jest bardzo ograniczony.

Poza falami światła fioletowego są fale jeszcze krótsze, fale „nadfioletowe“, które są cenne dla fotografa. Jak każdy amator wie, klisze można bezpiecznie wystawiać na światło, które przeszło przez pomarańczowy, albo czerwony filtr. Taki filtr oznacza „przejazd wzbroniony“ dla fal niebieskich i „poza-niebieskich“, a te właśnie bardzo odpowiadają małym ziarnkom srebra na kliszy. Właśnie one także dostarczają energii małym zielonym ziarnkom chlorofilu w roślinach przygotowując dla nas pożywienie i budulec. Drzewo rośnie wysoko w górę i wyciąga wachlarzowato swe liście ku niebieskiemu niebu, aby zdobyć te pozaniebieskie fale. W naszych kopalniach węgla, potężne, umarłe lasy sprzed wieków zgromadziły w sobie zapasy światła słonecznego, które zużytkowujemy rozrzutnie.

Promienie X oraz promienie gamma, o których powyżej

była wzmianka, są najdalszym kresem, najwyższymi oktawami fal elektromagnetycznych. Ich przenikliwość wskazuje, że są one nadzwyczaj krótkie, ale i one nie uchowały swej tajemnicy przed fizykiem nowoczesnym. Z szeregu pięknych doświadczeń, w których przepuszczało się promienie X poprzez atomy kryształów, dowiedzieliśmy się, jaka jest ich długość fali. Wynosi ona około jednej dziesięciomilionowej milimetra i jeszcze mniej.

X

ENERGIA

Jak widzieliśmy, jedną z podstawowych istności we wszechświecie jest materia. Druga, niemniej ważna, nazwana została energią. Energia jest niezbędna, jeśli świat ma istnieć w dalszym ciągu, gdyż od niej zależą wszystkie zjawiska, z życiem włącznie. Jest rzeczą niemożliwą stworzyć lub unicestwić energię. Ta teza stanie się łatwiej zrozumiałą, kiedy rozpatrzymy, czym jest energia.

Energia jest niezniszczalna i jak materia istnieje w różnych postaciach. Można dodać, że podobnie jak nie wiemy, czym są naprawdę ujemne i dodatnie cząstki elektryczności, z których składa się materia, tak nie wiemy również, czym jest prawdziwa istota energii. Jednak energia nie jest już tak całkowicie tajemnicza jak to kiedyś było. Stanowi ona jedną z tych tajemnic przyrody, które rozwój nauki współczesnej odsłonił w pewnej mierze. Dopiero w dziewiętnastym stuleciu energia stała się czymś równie odrębnym i trwałym jak materia.

Postacie energii.

Istnienie rozmaitych postaci energii było oczywiście znane od wieków: energia spadającego kamienia, energia palącego się drzewa lub węgla lub jeszcze innej substancji, ale nie domyślano się zasadniczej tożsamości tych wszystkich postaci energii. Pojęcie energii jako czegoś, czego ilość jest stała, co nie może być ani stworzone, ani unicestwione, było jedną z największych zdobyczy naukowych ubiegłego stulecia.

Nie jest rzeczą możliwą zająć się tutaj tym przedmiotem głębiej. Wystarczy, jeśli uwydatnimy pokrótce jego najwyrazistsze punkty. Energię znamy w dwóch postaciach: jako energię kinetyczną i jako — potencjalną. Postacią energii, która najbardziej się nam rzuca w oczy, jest energia ruchu: np. toczący się kamień, płynąca woda, spadające ciało itp. Energię ruchu nazywamy energią kinetyczną. Energia potencjalna jest energią, którą ciało posiada dzięki swemu położeniu; jest to, innymi słowy, zdolność, jaką posiada, nabycia energii kinetycznej, jak np. w przypadku kamienia spoczywającego na brzegu przepaści.

Energia może występować w różnych postaciach; jeden rodzaj energii może się zamienić bezpośrednio czy pośrednio w inny. Np. energia palącego się węgla zamienia się w ciepło, zaś z energii cieplnej otrzymujemy energię mechaniczną taką, jak ta, która się przejawia w maszynie parowej. W ten sposób możemy przenosić energię z jednego ciała na inne. Np. z energii wodospadów Niagara biorą swą energię olbrzymie elektrownie.

Czym jest ciepło?

Ważnym faktem, dotyczącym energii, jest to, że wszelka energia dąży do przybrania postaci energii cieplnej. Uderzenie spadającego kamienia wytwarza ciepło; wodospad jest cieplejszy u dołu niż u góry: spadające cząstki wody uderzając o ziemię wytwarzają ciepło; większości przemian chemicznych towarzyszą przemiany cieplne. Energia może być ukryta w kawałku drzewa przez czas nieokreślony, ale przy spalaniu się drzewa zostaje wyzwolona i jako wynik mamy ciepło. Atom radu lub jakiejś innej substancji promieniotwórczej rozpadając się wytwarza ciepło. „Przez godzinę rad wytwarza dostateczną ilość ciepła, aby podnieść temperaturę równej mu masy wody od punktu za-

marzania do punktu wrzenia“. A czym jest ciepło? Ciepło jest ruchem cząsteczkowym. Cząsteczki każdej substancji, jak to widzieliśmy uprzednio, są w stanie nieustannego ruchu i im żywszy jest ten ruch, tym cieplejsze jest ciało. Kiedy drzewo lub węgiel się pali, niewidoczne cząsteczki tych substancji gwałtownie się poruszając wytwarzają fale eteru, które nasze zmysły odczuwają jako światło i ciepło. W tym nieustannym ruchu cząsteczek mamy więc przejaw energii ruchu i ciepła.

Że energia, która znika w jednej postaci, pokazuje się w innej, okazało się prawdą powszechną. Joule wykazał pierwszy, że mierzalna ilość energii mechanicznej może być przekształcona w mierzalną ilość energii cieplnej. Woda gwałtownie mieszana za pomocą przyrządu, poruszanego przez spadające ciężary, lub przez obracające się koło rozpędowe lub w jakikolwiek inny mechaniczny sposób, — ogrzewała się. Pewna ilość energii mechanicznej została zużyta i pewna ilość energii cieplnej się ujawniła. Stosunek między tymi dwoma wielkościami okazał się niezmienny. Każdy proces fizyczny w przyrodzie związany jest z przemianą energii, ale całkowita ilość energii we wszechświecie pozostaje nienaruszona. Oto jest wielka zasada zachowania energii.

Nagromadzona energia.

Weźmy pod uwagę źródło wszystkiej prawie energii, jaką zużywa cywilizacja nowoczesna, węgiel. Wielkie lasy z epoki węglowej istnieją obecnie jako pokłady węgla. Spalając węgiel — jest to przemiana chemiczna — wytwarza się energię cieplną, od której zależy cała nasza cywilizacja. Skąd się wzięła energia uwięziona w węglu? Ze słońca. Przez miliony lat energia promieni słonecznych podtrzymywała bujną roślinność ery węglowej, po czym dzięki rozmaitym skompliko-

wanym procesom została przekształcona w energię potencjalną, która drzemie w tych wielkich kopalnianych lasach.

Wyczerpanie naszych zapasów węgla oznaczałoby, według dzisiejszego stanu naszej wiedzy, koniec cywilizacji. Znamy inne jeszcze źródła energii, to prawda. Jest energia wodospadów: jak wspominaliśmy, wodospady Niagary dostarczają energii wielkim elektrowniom. Może także dałoby się coś zrobić, aby wyzyskać energię przypływów i odpływów — oto jeszcze inny przykład energii wody w ruchu. Były też próby bezpośredniego zużytkowania energii promieni słonecznych. Ale wszystkie te źródła energii są małe w porównaniu z energią węgla. Na jednym ze zjazdów naukowych wysunięto myśl, że głębokie wiercenia mogłyby pozwolić na wyzyskanie wewnętrznego ciepła ziemi, ale to nie jest chyba zbyt praktyczny projekt. Najbardziej wydajnie mogłaby zastąpić węgiel energia wewnętrzna atomów, które są źródłem energii, jak widzieliśmy, praktycznie nieograniczonym. Jeśli olbrzymia energia wnętrza atomu zostanie kiedy wyzwolona i opanowana, to wtedy ciągle zmniejszanie się naszych zapasów węgla przestanie być troską, którą jest dzisiaj dla wszystkich myślących ludzi.

Energię nagromadzoną w wielkich pokładach węgla można zużyć, ale nie można stworzyć nowych jej zasobów. Jak widzieliśmy, energia nie może być unicestwiona, natomiast może się stać bezużyteczna, nie do zużytkowania. Zobaczmy, co znaczy ten ważny fakt.

Rozpraszanie się energii.

Energia może ulec rozproszeniu. Cóż się z nią staje? Ponieważ jest niezniszczalna, więc musi w dalszym ciągu istnieć. Łatwiej postawić to pytanie, niż dać ostateczną odpowiedź, i nie jest rzeczą możliwą w tej książce, gdzie nie zakłada się

u czytelnika szerszej znajomości fizyki, wchodzić w szczególności raczej trudnych teorii, wysuwanych przez fizyków i chemików. Możemy podnieść temperaturę, powiedzmy, żelaza aż do białego żaru. Jeżeli zaprzestaniemy ogrzewania, temperatura żelaza stopniowo opadnie do temperatury otoczenia. A dokąd w tym czasie uchodzi jego pierwotna energia? W pewnej mierze może ona przejść do innych ciał, których nasz kawał żelaza dotyka, ale w ostatecznym wyniku ciepło zostaje wypromieniowane w przestrzeń, gdzie już jest dla nas niedostępne. Staje się częścią wielkiego zbiornika *bezużytecznej* energii cieplnej o jednostajnej temperaturze. Wystarczy tu powiedzieć, że jeśliby wszystkie ciała posiadały tę samą, jednostajną temperaturę, to nie zdawalibyśmy sobie sprawy z istnienia takiej rzeczy, jak ciepło, (gdyż ciepło przechodzi z jednego ciała na drugie tylko wtedy, kiedy różnią się one temperaturą, a przytem odbywa się to tak długo, aż temperatura ich stanie się jednakowa). Całkowita suma ciepła jakiegokolwiek ciała mierzy się ilością energii kinetycznej ruchu jego cząsteczek.

Musi nadejść czas, jak to się obecnie wydaje, kiedy temperatura jednostajna przeważy we wszechświecie, nawet jeśli nie wszystka jego energia cieplna zostanie wypromieniowana w pustą nieskończoną przestrzeń. Jeśli z dwóch ciał jedno jest cieplejsze niż drugie, to ciepło przechodzi z cieplejszego na chłodniejsze tak długo, aż oba będą miały tę samą temperaturę. Każde z tych ciał może posiadać w dalszym ciągu znaczną ilość energii cieplnej, którą pochłonęło, ale ta energia, przynajmniej jeśli chodzi o reakcje między tymi dwoma ciałami, jest nie do zużytkowania, jest teraz *bezużyteczna*. Ta sama zasada stosuje się i w przypadku, kiedy rozpatrujemy dowolną ilość ciał. Na to, żeby można było wyzyskać energię cieplną, trzeba przede wszystkim mieć ciała o różnych temperaturach. Jeśliby cały wszechświat miał tę samą

jednostajną temperaturę, to, chociażby zawierał ogromne zasoby energii cieplnej, byłaby ona *bezużyteczna*.

Co by oznaczała jednostajna temperatura?

A cóż stąd wynika? Wynika stąd bardzo wiele: jeśli bowiem cała energia wszechświata stałaby się *bezużyteczną*, to przestałby on istnieć w swej dzisiejszej postaci. Jest rzeczą możliwą, że wszechświat wskutek ciągłej wymiany ciepła przez promieniowanie zmierza do pewnej jednostajnej temperatury, w którym to przypadku ruch cząsteczkowy, chociażby nie ustał całkowicie, stałby się *bezużyteczny*. W tym sensie powiedzieć można, że wszechświat chyli się ku upadkowi.

Jeśli wszystkie cząsteczki jakiejś substancji zostałyby zatrzymane w swym ruchu, to substancja ta miałaby temperaturę zera absolutnego. Nie by nie mogło być zimniejsze. Temperatura, w której wszelki ruch cieplny ustaje, jest znana: wynosi ona — 273° C. Żadne ciało nie może osiągnąć temperatury niższej, niż ta; niższa temperatura nie istnieje. Temperatura naszego układu słonecznego musi kiedyś się obniżyć do tego zera absolutnego, chyba że istnieje w przyrodzie jakiś proces, dziś zupełnie nieznany, który zasoby energii odświeża. Słońce, ziemia, i każde inne ciało we wszechświecie bezustannie wypromieniowuje ciepło, a ten proces nie może trwać wiecznie, gdyż ciepło wciąż dąży do rozpraszania się i do wyrównania temperatur.

Jednak teoretycznie można sobie wyobrazić sposób obejścia tego prawa. Jeśliby się dało kierować bezładnymi ruchami cząsteczkowymi, które stanowią ciepło, to energia cieplna ciał mogłaby być wyzyskana bezpośrednio. Są uczeni, którzy myślą, że niektóre z procesów zachodzących w ciałach istot żywych, odbywają się zupełnie bez strat energii, że chemiczna energia pożywienia przekształca się bezpośrednio

w pracę, i nie rozprasza się wcale, jako beżużyteczna energia cieplna. Możliwe zatem, że człowiek wynajdzie w końcu jakiś sposób obejścia tego prawa przyrody, które głosi, że energia wprowadzie nie może być unicestwioną, ale ma tendencję stać się beżużyteczną.

Pierwotnym zbiornikiem wszelkiej energii jest atom: właśnie z zapasów energii atomu, atomu pierwiastków znajdujących się na słońcu, gwiazdach, ziemi, przyroda czerpie wszelką swoją energię. Czy wykryjemy kiedy jak można odnowić malejące zasoby energii, albo wskrzesić obecnie beżużyteczną energię jednostajnej temperatury? „Wygląda na to, że nasi potomkowie będą świadkami ciekawego wyścigu między postępem nauki z jednej strony, a ubywaniem zasobów naturalnych z drugiej. Naturalna szybkość przepływu energii z jej pierwotnych atomowych zbiorników do oceanu beżużytecznej energii cieplnej o jednostajnej temperaturze pozwala życiu na posuwanie się pełnym krokiem, surowo kierowanym przez nieubłagane prawa podaży i popytu, które biologowie rozpoznali w swej dziedzinie, jako walkę o byt.“ (Prof. Soddy, „Materia i energia“.)

Jest rzeczą pewną, że energia jest istnością rzeczywistą, zupełnie tak samo jak materia, i że nie może być unicestwiona. Materia i eter są zbiornikami lub nośnikami energii. Jak to mówiliśmy, nie wiemy, czym te istności są naprawdę. Możliwe, że wszelkie postaci energii są w jakiś zasadniczy sposób aspektami tej samej pra-istności, która stanowi materię: jak zbudowana jest wszelka materia z cząstek elektryczności, tośmy już widzieli. Pytaniem, na które oczekujemy odpowiedzi, jest: Czym jest elektryczność?

XI

MATERIA, ETÉR I EINSTEIN

Najwyższą syntezą, koroną tego wciąż naprzód postępującego podboju przyrody, byłoby wykrycie, że cząstki dodatniej i ujemnej elektryczności, z których zrobione są atomy materii, są centrami zaburzeń w jakimś uniwersalnym eterze, i że wszelkie nasze „energie“ (światło, magnetyzm, grawitacja itp.) są jakimiś falami lub napięciami, wywołanymi w tym eterze przez zbiorowiska elektronów.

Jest to fascynujące i pełne udręki marzenie. Larmor wysunął myśl w roku 1900, że elektron jest małym „wirem“ w eterze, a ponieważ taki wir może się kręcić w dwóch przeciwnych kierunkach, więc dopatrywano się w tym możliwości wyjaśnienia dodatniej i ujemnej elektryczności. Jednak trudności okazały się bardzo poważne i natura elektronu jest nieznana. Najnowszymi teoriami zajmujemy się później. Istniał też pogląd, że elektron jest „pierścieniem ujemnej elektryczności obracającym się z wielką prędkością dokoła swej osi“, ale to daleko nas nie prowadzi. Musimy się zadowolić tym, że znamy ogólne linie po których myśl się posuwa naprzód ku ostatecznej jedności.

Powiadamy „jedność“, lecz byłoby poważnym błędem myśleć, że eter jest jedyną możliwą podstawą dla takiej jedności, albo czynić z niego najistotniejszą część naukowego obrazu wszechświata. Eter nie był nigdy niczym więcej niż wyobrażeniem, któremu przypisywaliśmy najbardziej niezwykle własności i które zdawało się obiecywać nam znaczną pomoc. Był on pomyślany jako sprężyste ciało stałe o bardzo wielkiej gęstości, rozciągające się do krańców wszechświata i będące ośrodkiem rozchodzenia się fal od gwiazdy do

gwiazdy z prędkością 300.000 kilometrów na sekundę; a jednocześnie trzeba było przyjąć, że dowolne ciało stałe porusza się w nim tak, jak gdyby nie istniał.

Doświadczenie Michelsona i Morleya.

Kilkadziesiąt lat temu w celu wykrycia eteru spróbowano pewnego subtelного doświadczenia. Ponieważ ziemia w swej wędrówce dokoła słońca porusza się w eterze, więc jeżeli ten eter istnieje, to przez każde laboratorium powinien płynąć prąd eteru; zupełnie tak samo, jak ruch okrętu poprzez nieruchome powietrze powoduje „wiatr“. W roku 1887 Michelson i Morley spróbowali to wykryć. Teoretycznie promień światła powinien się poruszać w kierunku prądu z inną szybkością, niż pod prąd. Otóż nie znaleźli oni żadnej różnicy, a szereg innych doświadczeń dało też negatywny wynik. To jeszcze nie dowodzi, że nie ma eteru, gdyż istnieją powody do przypuszczania, że nasze przyrządy kurczą się dokładnie w takim stosunku, jaki jest potrzebny, aby zrównoważyć zmianę prędkości światła; ale pozostaje faktem, że nie mamy dowodu istnienia eteru. Sir J. H. Jeans powiada, że „przyroda zachowuje się tak, jak gdyby taka rzecz nie istniała“. Nawet ze zjawisk świetlnych i z magnetyzmu nie wynika, według niego, istnienie eteru; i uważa on, że hipotezę eteru można zarzuścić. Oczywiście najważniejszym argumentem za wyrzeczeniem się pojęcia eteru jest to, że — jak wykazał Einstein — nie ma sposobu wykrycia jego istnienia. Jeśli istnieje jakiś eter i skoro ziemia się w nim porusza, to powinien być sposób wykrycia tego ruchu. Próbowano to zrobić, jak mówiliśmy, ale chociaż metody stosowane były bardzo czułe, żadnego ruchu nie wykryto. Właśnie Einstein czyniąc przewrót w naszych pojęciach przestrzeni i czasu wykazał, że żaden taki ruch w żaden sposób nie może być wykryty i że zwykle pojęcie eteru musi być zarzucone.

XII

BUDOWA ATOMÓW

Czytelnika, zapoznającego się z podanym tu dotąd zarysem elektrycznej teorii materii, uderzyła prawdopodobnie pewna trudność. Elektryczność jest, powie on, czymś w naturze swej podobnym do światła czy ciepła. Nie jest substancją. Jakże więc materia może być zrobiona z elektryczności? Odpowiedzią na to jest, że elektryczność posiada właśnie tę cechę, jaką się zazwyczaj uważa za główną cechę substancji. Elektryczność posiada bezwładność. Kiedy mówimy o substancjalności materii, to w gruncie rzeczy mamy na myśli jej bezwładność. Właśnie dlatego, że materia posiada bezwładność, trzeba siły aby ją poruszyć i właśnie bezwładność sprawia, że kawałek materii, raz w ruch wprawiony, ma tendencję w tym ruchu trwać. Otóż elektryczność zachowuje się zupełnie tak samo. Kiedy włączamy prąd w drucie, to prąd ten nie od razu osiąga swe pełne natężenie. Trzeba na to trochę czasu. Podobnie, kiedy wyłączamy prąd, to nie zanika on od razu, a potrzebuje na to trochę czasu. Widzimy, że istnieje analogia między trudnością wywołania i zatrzymania prądu elektrycznego, a trudnością wywołania i zatrzymania ruchu kawałka materii. W obu wypadkach trzeba przewyciężyć pewien opór, a ten opór jest spowodowany przez właściwość zwaną bezwładnością, którą posiada zarówno materia jak i elektryczność. Ale Sir J. J. Thomson wykrył przed laty jeszcze inny, bardziej uderzający fakt. Mając kawałek materii, powiedzmy mosiężną kulę, możemy wyznaczyć siłę uderzenia potrzebnego na to, aby nadać jej określoną prędkość, np. trzy-

dziestu kilometrów na godzinę. Jeśli teraz tę kulę naelektryzujemy, tak że będzie się na niej znajdował pewien nabój elektryczny, to okaże się, że potrzeba silniejszego uderzenia, aby nadać jej tę samą, co poprzednio, prędkość trzydziestu kilometrów na godzinę. Nabój elektryczny sprawia, że kula zachowuje się tak, jak gdyby posiadała większą masę. Czyli nabój elektryczny zachowuje się tak, jak gdyby w pewnym stopniu posiadał swoją własną masę. Możemy więc powiedzieć, że elektryczność posiada masę.

Ale jeśli tak jest w istocie, jeśli elektryczność posiada masę, to powstaje pytanie, jaka część masy elektronu spowodowana jest przez jego nabój elektryczny. Otóż przez pewien czas wydawało się możliwym przyjąć, że cała masa elektronu spowodowana jest przez jego nabój elektryczny. Elektron nie byłby więc drobną cząstką „zwykłą” materii, niosącą na sobie nabój elektryczny, a byłby wyłącznie nabojem elektrycznym. Ten piękny przez swą prostotę pogląd nie dał się niestety utrzymać. Jest dzisiaj rzeczą pewną, że masa elektronu nie jest wyłącznie pochodzenia elektrycznego, a więc elektron jest czymś więcej, niż nabojem elektrycznym. Ale czym — tego nie wiemy. Nie udało się stworzyć dotychczas jeszcze zadowalającej teorii elektronu.

Ważne odkrycie.

Podaliśmy już szkic nowoczesnej teorii, według której atomy są zbudowane z cząstek elektrycznych; teraz trzeba ją rozważyć nieco szczegółowiej. Przede wszystkim jest rzeczą jasną, że w skład atomu musi wchodzić prócz elektronów jeszcze coś więcej, gdyż atom w warunkach normalnych nie ujawnia naboju elektrycznego. Gdyby w atomie były wyłącznie ujemnie naładowane elektrony, to oczywiście ujawniałby on ujemny nabój elektryczny. Aby więc atom był elektrycznie obojętny, musi być w nim obecny kompensujący nabój dodatni. W jaki

sposób te dwa rodzaje naboju, dodatni i ujemny, wchodzi w skład atomu? Nie łatwo jest dać odpowiedź na to pytanie. Sir J. J. Thomson wysunął teorię, według której nabój dodatni atomu wypełnia sporą kulę (wielkości danego atomu), a w jej wnętrzu znajduje się konieczna ilość elektronów.

Ale doświadczenie wykazało, że ta teoria się nie nadaje. W doświadczeniu, o którym mowa, chodziło o pomiar rozproszenia, któremu ulegają cząstki wysyłane przez rad (cząstki alfa), kiedy się je kieruje poprzez cienkie blaszki metalowe. W każdym razie musimy spodziewać się pewnego rozproszenia. Bo przecież nie wszystkie te cząstki, przechodząc poprzez metal, natrafiają na przestrzeń między atomami metalu. Niektóre z nich przejdą bardzo blisko elektronów jednego lub kilku atomów metalu i ulegną odchyleniu, a wielkość oczekiwanych odchyleni może być obliczona.

Jednak, kiedy doświadczenie to zostało rzeczywiście wykonane, znaleziono, że odchylenia są często znacznie większe, niż to by wynikało z teorii Thomsona. Niektóre z cząstek są aż zawracane ze swej drogi, tak że wychodzą z metalu tą samą stroną, którą weszły. Było jasnym, że na to, aby odchylić cząstki tak gwałtownie, potrzebna jest jakaś bardzo potężna siła. Skąd ta siła się bierze? Sir Ernest Rutherford dał na to odpowiedź. Przyjął on, że nabój dodatni atomów, zamiast być rozpostarty po całym atomie, jest skupiony w jego środkowym punkcie. I można było wykazać, że ten punktowo skupiony nabój wywiera na cząstki alfa, przechodzące blisko niego, siłę odpychającą dostateczną na to, aby można było wyjaśnić obserwowane wielkie odchylenia.

Układ słoneczny.

A więc uzyskaliśmy zupełnie inny obraz atomu. Musimy obecnie przyjąć, że atom jest czymś w rodzaju miniaturowego układu słonecznego. Pośrodku znajduje się punktowo sku-

piony nabój dodatni. Wokół niego krążą elektrony. Tak się przedstawia ogólny obraz, ale aby móc się na co przydać nauce, musi on być naturalnie bliżej sprecyzowany. Wiemy, że wszystkie atomy tej samej substancji są jednakowe, atomy zaś substancji różnych — różne. Mogą one mieć na przykład różne chemiczne własności i różną wagę. Np. atom tlenu waży około szesnastu razy więcej, niż atom wodoru. Atom uranu waży 238 razy więcej, niż atom wodoru. Atomy różnych substancji można uporządkować według ich wagi poczynając od wodoru, który jest najlżejszy, a kończąc na uranie, który jest najcięższy. Nasza teoria atomów musi więc zdać sprawę z tej różnorodności, jeśli w ogóle ma mieć jakąś wartość naukową.

Aby zrozumieć istotę tej teorii, zaczniemy od przypadku najprostszego, od wodoru. Atom wodoru jest najprostszym, możliwym do pomyślenia. Ma on jeden elektron krążący dookoła równego mu naboju dodatniego, który nazywamy protonem. Otóż ten fakt ujawnia nam od razu bardzo ważną różnicę między protonem i elektronem. Widzieliśmy, że masa elektronu jest równa $\frac{1}{1840}$ masy atomu wodoru. Ale w atomie wodoru jest tylko jeden elektron. Stąd wniosek, że praktycznie cała masa atomu wodoru skupiona jest w protonie. Nabój protonu jest równy naboju elektronu. Jediną różnicą jest to, że proton ma nabój dodatni, elektron zaś — ujemny. Ale masa protonu jest około 1840 razy większa.

Widzieliśmy, jak niewyobrażalnie mały jest elektron. Również niewyobrażalnie mały jest proton. I w rzeczywistości atom wodoru i w ogóle każdy atom, to prawie wyłącznie pusta przestrzeń. Średnicą atomu wodoru jest oczywiście średnica orbity, po której krąży elektron. Ta średnica wynosi tylko jedną stumilionową część centymetra. Elektron jest w atomie wodoru jak mucha w kościele, żeby użyć plastycznego porównania Sir Olivera Lodge'a. Mucha, która brzęczy wokół drobnutkiego ziarenka, zawieszonego pośrodku kościoła.

Przeważnie pusta przestrzeń.

Atom jest więc głównie pustą przestrzenią. Stąd wniosek, że każdy kawałek materii, ponieważ składa się z atomów, jest także pustą przestrzenią. Jeśli na przykład wszystkie protony i elektrony, z których składa się ciało ludzkie, dały się razem stłoczyć, to byłoby to ledwie widoczne ziarenko. Reszta ludzkiego ciała — to pusta przestrzeń.

Bardziej złożone atomy.

Pierwiastkiem następnym z kolei po wodorze jest hel, a atom helu składa się z dwóch elektronów, krążących dookoła dodatnio naładowanego jądra. Ale tu powstaje ciekawe pytanie. Co należy założyć o budowie jądra helu? Widzieliśmy, że jądro wodoru to po prostu proton. Czy mamy przyjąć, że jądro helu składa się z dwóch protonów? To by było w porządku, jeśli chodzi o nabój elektryczny, gdyż potrzeba właśnie naboju dwóch dodatnich jednostek, aby zrównoważyć elektrycznie nabój dwóch krążących elektronów. Ale ciężar atomowy wypadłby fałszywy. Możemy uważać ciężar atomowy dowolnego atomu za równy ciężarowi jądra jego. Jądro zaś swój ciężar musi zawdzięczać, według tego obrazu, protonom, które zawiera. Dla celów praktycznych możemy zaniedbać ciężar elektronów w atomie, bo przecież dopiero 1840 elektronów ma ciężar równy ciężarowi jednego protonu. Otóż atom helu nie jest dwa razy cięższy od atomu wodoru, ale cztery razy cięższy. A więc jądro helu musi zawierać cztery protony. Ponieważ jednak jego nabój wynosi tylko dwie dodatnie jednostki, więc trzeba przyjąć że te cztery protony złączone są z dwoma elektronami. Te dwa elektrony niweczą działanie naboju dwóch z owych czterech protonów i w ten sposób otrzymuje się właściwy nabój wypadkowy. Widzimy więc, że — według tego poglądu — jądro helu ma budowę raczej

złożoną. Zawiera cztery protony i dwa elektrony. A dokoła tego jądra krążą dwa zewnętrzne elektrony atomu helu.

Neutron.

W podobny sposób można by sobie wyobrażać budowę jądra innych bardziej złożonych atomów. Nie będziemy jednak zajmować się tym szczegółowo, bo pogląd ten na budowę jądra atomowego, chociaż utrzymywał się długo, jednak w ostatnich latach przestał być aktualny. Mówiliśmy, że wszelka materia składa się w ostatecznej analizie z protonów i elektronów. Proton i elektron są jedynymi cząstkami „elementarnymi”: wszelkie inne cząstki są z nich złożone. Pogląd na budowę jądra atomowego, który przed chwilą zilustrowaliśmy na przykładzie jądra helu, jest więc z tego punktu widzenia jedynym możliwym. Bo jeśli poza protonami i elektronami nie istnieją żadne inne cząstki i jeśli, jak to widzieliśmy, jądra atomowe nie mogą się składać z samych protonów, to muszą się one składać z protonów o r a z elektronów. Innej możliwości nie ma. I chociaż, jak się okazało przy bliższej analizie, założenie obecności elektronów w jądrze atomowym prowadzi do różnych trudności, to jednak pogląd ten się utrzymywał w braku lepszego. Z budulca, który się miało do dyspozycji (protony i elektrony), żadnej lepszej budowli (jądra) nie można było skonstruować.

Otóż w roku 1932 odkryto nową cząstkę, tzw. neutron, i sytuacja uległa od razu zasadniczej zmianie. Cóż to jest ten neutron? Jest to cząstka elektrycznie neutralna (stąd nazwa) i posiadająca masę praktycznie równą masie protonu, a w rzeczywistości odrobinę większą. Poniżej będzie jeszcze mowa o okolicznościach, w jakich neutron został odkryty, a tymczasem zobaczmy, jak może on się nam przydać do zrozumienia budowy jądra atomowego.

Rozpatrzmy znowu atom helu. Ponieważ krążą w nim

dokoła jądra dwa elektrony, więc na to, żeby był on jako całość elektrycznie neutralny wystarczyło przyjąć, jak widzieliśmy, że jego jądro składa się z dwóch protonów. Ale założenie to nie wystarczało na to, żeby wytłumaczyć ciężar jądra helowego, bo waży ono tyle co c z t e r y protony. Trzeba więc było przyjąć istnienie w jądrze helowym jeszcze dwóch dodatkowych protonów, co znowu psuło nam neutralność atomu helu. Żeby to naprawić, musieliśmy przyjąć, że prócz czterech protonów w jądrze helu znajdują się także dwa elektrony, które ciężaru jądra nie psuły, bo w porównaniu z protonem elektron praktycznie nic nie waży. Ale, jak wspomnieliśmy przed chwilą, właśnie założenie obecności elektronów w jądrze jest bardzo niepożądane. Otóż mając do dyspozycji neutron — założenia tego możemy się pozbyć bardzo łatwo. Po prostu wystarczy przyjąć, że zamiast tych dwóch elektronów i owych dwóch dodatkowych protonów, w jądrze helu istnieją dwa neutrony, czyli że jądro helu składa się z dwóch protonów i dwóch neutronów. Rzeczywiście w ten sposób jest wszystko w porządku. Bo skoro neutrony są elektrycznie neutralne, jak mówiliśmy, to nabój jądra, składającego się z dwóch neutronów i dwóch protonów, równa się po prostu naboju tych dwóch protonów, ten zaś w atomie helu równoważą elektrycznie dwa elektrony krążące dokoła jądra. Otrzymujemy więc, że atom helu jako całość jest elektrycznie neutralny, czyli to, co trzeba. Ciężar jądra helu wypada również dobry, to znaczy równy ciężarowi czterech protonów. Bo skoro, jak mówiliśmy, neutron waży praktycznie tyle co proton, to ciężar dwóch protonów i dwóch neutronów wynosi praktycznie to samo, co ciężar czterech protonów.

Neutron pozwolił więc nam pozbyć się niepożądanych elektronów w jądrze helowym oraz w ogóle — znacznie uprościć obraz tego jądra.

Ogólna zasada.

Oczywiście według tego najnowszego poglądu nie tylko jądro helu, ale w ogóle wszelkie jądra atomowe zbudowane są z protonów i neutronów, a nie, jak myślano dawniej, z protonów i elektronów. Rozpatrzmy to nieco szczegółowiej.

Mówiliśmy, że atomy poszczególnych pierwiastków można uporządkować według ich ciężaru poczynając od wodoru jako nr 1, a kończąc na uranie jako nr 92. Kolejny numer pierwiastka w tej tablicy nazywamy jego liczbą atomową. Jest to ta sama liczba atomowa, o której już raz mówiliśmy w związku z doświadczeniami Moseleya. Powiedzieliśmy tam, że jest ona równa liczbie elektronów („zewnętrznych“, pozajądrowych — zastrzeżenie to według nowego poglądu na budowę jądra jest oczywiście zbyt techniczne) zawartych w danym atomie. Ponieważ atom jako całość jest elektrycznie neutralny, więc liczba atomowa musi się także równać liczbie skupionych w jego jądrze jednostek dodatnich naboju.

Zatem liczba atomowa wodoru jest 1 i nabój jądra jego jest 1. Liczba atomowa helu jest 2 i nabój jądra jego jest 2. I tak jest dla wszystkich 92 pierwiastków, aż do uranu włącznie, którego liczba atomowa jest 92 i którego nabój jądrowy jest 92. Ale chociaż nabój jądra wzrasta w tak regularny sposób, to tak bynajmniej nie jest z ciężarem jądra.

Widzieliśmy już, że przechodząc od wodoru do helu ciężar jądra czyni skok od 1 do 4, podczas gdy skok naboju jest od 1 do 2. Kiedy dochodzimy do uranu, to okazuje się, że ciężar podskoczył do 238, podczas gdy nabój wynosi tylko 92. Otóż nabój jądra pochodzi wyłącznie od protonów, bo neutrony są elektrycznie neutralne i liczba atomowa, która jest przecież równa naboju jądra, podaje nam bezpośrednio ilość protonów znajdujących się w jądrze. A więc w helu są 2 protony, w uranie zaś 92 protony. Natomiast na ciężar jądra składają się nie tylko zawarte w nim protony, ale

także i neutrony. Ponieważ neutron posiada praktycznie ten sam ciężar, co proton, więc liczba neutronów w jądrze musi się oczywiście równać różnicy: ciężar atomowy minus liczba atomowa. Ciężar atomowy helu jest 4, jego liczba atomowa jest 2, a więc liczba neutronów w jądrze helu jest 4 minus 2, czyli 2, co zresztą było nam już wiadome. Zupełnie tak samo oblicza się liczbę neutronów zawartych w jądrze każdego innego pierwiastka. Np. w przypadku uranu ciężar atomowy jest 238, liczba atomowa — 92, a więc w jądrze uranu znajduje się $238 - 92 = 146$ neutronów. Jądro atomu uranu posiada, jak z tego widać, niezmiernie złożoną budowę, gdyż składa się aż z 92 protonów i 146 neutronów. A ile elektronów krąży wokół jądra uranu? Odpowiedzią jest oczywiście 92, gdyż właśnie tyle elektronów potrzeba, aby zrównoważyć dodatni nabój jądra.

Znajomość ciężaru atomowego i liczby atomowej jakiegoś pierwiastka wystarcza więc w zupełności na to, aby móc powiedzieć, ile protonów i ile neutronów zawiera jądro jego atomu oraz ile elektronów krąży dokoła tego jądra.

Jeszcze o liczbie atomowej.

Dawniej przywiązywano wielką wagę do ciężaru atomowego pierwiastków. Obecnie interesujemy się raczej liczbą atomową. Powód tego jest ten, że chemiczne własności atomu zależą od elektronów w nim krążących, a liczba tych elektronów jest, jak widzieliśmy, równa liczbie atomowej.

Różnica między atomami różnych substancji jest spowodowana przez fakt, że różne atomy mają różne liczby elektronów. Albo też możemy powiedzieć, że o właściwościach atomu decyduje nabój jego jądra, gdyż nabój ten jest, jak widzieliśmy, równy liczbie atomowej. Dwa atomy, które posiadają jednakowy nabój jądrowy i wobec tego jednakową

ilość elektronów, będą posiadać także dokładnie jednakowe własności chemiczne. Będą one dwoma atomami tej samej substancji. Jednak nie muszą one mieć tego samego ciężaru atomowego! Istotnie znamy wiele substancji, składających się z atomów, których ciężary są różne, a które poza tym są identyczne w swych własnościach.

Nasza teoria tłumaczy nam to bardzo pięknie i jasno. Widzielśmy bowiem, że ciężar atomowy atomu zależy od łącznej liczby protonów i neutronów w jego jądrze, podczas gdy wszystkie jego chemiczne własności zależą od naboju jądra, czyli od liczby protonów. Otóż weźmy pod uwagę atom, którego nabój jądrowy jest, powiedzmy, 36. Jakież jest jego ciężar atomowy? Na to pytanie nie da się odpowiedzieć, gdyż nabój jądra informuje nas tylko o liczbie protonów w nim zawartych, a nic nam nie mówi o tym, ile jest neutronów. A neutrony przecież w równym stopniu jak protony przyczyniają się do ciężaru atomowego. Atomy o tym samym naboju jądrowym mogą się więc różnić między sobą liczbą neutronów zawartych w jądrze, a co za tym idzie — ciężarem atomowym. Ale własności chemiczne tych atomów będą zupełnie jednakowe, będą to atomy tej samej substancji, w naszym wypadku (liczba atomowa 36) atomy gazu kryptonu. I rzeczywiście znaleziono doświadczalnie, że dowolna próbka kryptonu składa się z atomów o różnych ciężarach, a mianowicie 78, 80, 82, 83, 84 i 86. Ale wszystkie te atomy mają ten sam nabój jądrowy 36 i dlatego zupełnie jednakowe własności. Atomy tego rodzaju nazywamy „izotopami“. Nazwa ta, wzięta z greckiego, wskazuje, że zajmują one to samo miejsce w tablicy pierwiastków. Posiadają one tę samą liczbę atomową, a różnią się ciężarem atomowym. Innym przykładem może tu być dobrze znany gaz, chlor. Jest on mieszaniną atomów o ciężarach 35 i 37. Zresztą olbrzymia większość pierwiastków składa się z dwóch

lub kilku odmian izotopowych. Izotopy są więc regułą, a nie jakimś wyjątkiem.

Ciężka woda.

Od niedawna (rok 1932) wiadomo, że najprostszy i najlżejszy z wszystkich pierwiastków, wodór, także składa się z dwóch a może nawet trzech różnych izotopów. Jest więc dobrze znany wodór zwykły o liczbie atomowej 1 i o ciężarze atomowym 1. Następnie jest „ciężki wodór“, nazywany także „deuterium“, o liczbie atomowej oczywiście również 1, ale o ciężarze atomowym 2: jądro ciężkiego wodoru, czyli „deuteron“, składa się z jednego protonu i jednego neutronu. Wreszcie bardzo prawdopodobne jest istnienie wodoru o liczbie atomowej 1 i o ciężarze atomowym 3, ale o tym trzecim izotopie wodoru w dalszym ciągu mówić nie będziemy.

Podkreślaliśmy wyżej kilkakrotnie, że własności chemiczne atomów zależą tylko od liczby atomowej: izotopy tego samego pierwiastka mają wszystkie te same chemiczne własności. Otóż ciężki wodór jest dlatego szczególnie interesujący, że stanowi pod tym względem wyjątek: własności chemiczne ciężkiego wodoru są nieco różne od własności wodoru zwykłego. Ta wyjątkowość ciężkiego wodoru jest dosyć zrozumiała. Musimy mianowicie zwrócić uwagę na to, że jest on aż dwa razy cięższy od zwykłego wodoru, gdy tymczasem ciężary atomowe izotopów innych pierwiastków różnią się między sobą najwyżej o kilkanaście procent. Jeżeli więc, wbrew temu co mówiliśmy dotychczas, własności chemiczne atomu jednak zależą w pewnym, nieznacznym stopniu od masy jego jądra, czyli od ciężaru atomowego, to zależność ta ma o wiele większe szanse ujawnienia się w przypadku izotopów wodoru, niż w przypadku izotopów jakichkolwiek innych pierwiastków.

Jak wiemy, cząsteczka wody składa się z dwóch atomów wodoru i jednego atomu tlenu. Wodę, w której cząsteczkach atomy wodoru zwykłego są zastąpione przez atomy ciężkiego wodoru, nazywamy „ciężką wodą”. Ciężka woda w swym wyglądzie niczym się nie różni od zwykłej, własności jej są jednak nieco inne. Przede wszystkim, jak już sama jej nazwa wskazuje, waży ona więcej: w temperaturze pokojowej (20°C) jeden centymetr sześcienny wody zwykłej waży 0.997 grama, zaś jeden centymetr ciężkiej wody — 1.106 grama. Poza tym ciężka woda zamarza już w temperaturze $+3.8^{\circ}\text{C}$, natomiast wre dopiero w temperaturze 101.4°C . Wreszcie ciężka woda inny ma wpływ na materię żywą niż woda zwykła: ciężka woda działa na materię żywą na ogół ujemnie, a niekiedy nawet śmiertelnie. Ale niech czytelnik z tego powodu nie patrzy podejrzliwie na wodę, którą dotychczas pił spokojnie, ilekroć mu się pić chciało: woda naturalna zawiera ciężką wodę w ilości co najwyżej setnych części procentu.

Dowody doświadczalne.

Dowody doświadczalne, przemawiające za ogólnym obrazem atomu, któryśmy tu naszkicowali, są bardzo mocne. Rozpatrzmy te dowody bardziej szczegółowo później, ale możemy tu wspomnieć od razu o jednym albo dwóch prostszych faktach. Atomy są, jak to wiemy, w normalnych warunkach elektrycznie neutralne. Ale jeśliby atom utracił jeden ze swych elektronów, to oczywiście zachowywałby się jak nabój dodatni, bo zawierałby o jeden elektron za mało, aby zrównoważyć dodatni nabój jądra. Jeśliby utracił dwa elektrony, to zachowywałby się jak atom niosący dwie dodatnie jednostki naboju. I tak dalej.

Otóż, jeśli nasz obraz atomu wodoru jest prawdziwy, to atom wodoru może się niekiedy zachowywać jak nabój jed-

nostkowy dodatni, ale nigdy — jako nabój dodatni o dwóch lub więcej jednostkach. Atom wodoru bowiem zawiera tylko jeden elektron. I rzeczywiście podczas gdy nieraz się obserwuje atomy wodoru o jednym naboju dodatnim jednostkowym, to nigdy nie wykryto atomu wodoru o dwóch lub więcej nabojach dodatnich. Atom helu ma dwa elektrony. Może utracić jeden z nich lub obydwa i wobec tego ujawniać się jako atom o jednym lub dwóch jednostkach dodatnich naboju. Obydwa te rodzaje atomów helu bywają obserwowane, natomiast atom helu o więcej niż dwóch nabojach jednostkowych dodatnich nie jest znany. Wyniki te potwierdzają więc w swym zakresie naszą teorię. Promienie alfa wysyłane przez rad są atomami helu o dwóch dodatnich jednostkach naboju, to znaczy, są one atomami helu, które utraciły obydwa swe elektrony, tak że pozostało tylko jądro. Elektrony dają się łatwo oderwać od atomu, natomiast rozbicie jądra to sprawa zupełnie inna i na ogół trudna.

Widzieliśmy, że jądro helu jest dosyć złożone, składa się bowiem z dwóch protonów i dwóch neutronów, a pomimo to żadna z sił znanych dzisiaj nauce nie jest w stanie go rozbić. Nawet z zadziwiająco potężnych wybuchów jakie zachodzą w atomie radu, jądro helowe wynurza się całkowicie zwarte i nienaruszone. Powody tej przedziwnej trwałości jądra helowego prowadzą nas do jednego z najbardziej fascynujących rozdziałów nauki współczesnej, ale nim się tym zajmujemy, zobaczmy, jakie światło rzucają na nasz obraz atomu zjawiska promieniotwórcze.

XIII

O PROMIENIOTWÓRCZOŚCI NIECO SZCZEGÓŁOWIEJ

Na początku musimy raz jeszcze podkreślić, że własności atomu są wyznaczone przez nabój jądra i że ten nabój równa się liczbie atomowej atomu. Jeśli nabój jądra jakiegoś atomu ulega zmianie z jakiegoś powodu, to atom ten się staje atomem nowej substancji. Wszystkie jego własności się zmieniają. Widzieliśmy również, że jądro każdego atomu, z wyjątkiem atomu wodoru, ma budowę złożoną: składa się z pewnej kombinacji protonów i neutronów. Jeśli więc byśmy mogli usuwać z jądra na przykład protony, to tym samym zmienialibyśmy nabój jądrowy, czyli przekształcalibyśmy atom w inną substancję. Wspaniałym przykładem tych przemian jest promieniotwórczość.

Różne rodzaje promieni.

Znamy około czterdziestu substancji promieniotwórczych, a wszystkie one wysyłają promienie jakiegoś rodzaju. Istnieją, jak to już mówiliśmy w rozdziale IV, trzy rodzaje promieni wysyłanych przez substancje promieniotwórcze i te trzy rodzaje bardzo się między sobą różnią. Promienie α (alfa) i β (beta) są strumieniami cząstek. Natomiast promienie γ (gamma) nie są wcale cząstkami, a falami elektromagnetycznymi o nadzwyczaj małej długości fali: są one jeszcze krótsze niż promienie Roentgena. Cząstka α jest jądrem atomu helu. Jej ciężar praktycznie równa się ciężarowi atomu helu. Te stosunkowo ciężkie cząstki są wyrzucane z radu z prędkością kilkudziesięciu tysięcy kilometrów na sekundę. Aby dać

pojęcie o potężnej wydajności procesów, zachodzących w radzie, wspominamy, że jeden gram radu wysyła około 35.000.000.000 cząstek α na sekundę. Cząstki β są to po prostu elektrony, ale osiągające zdumiewające prędkości. Najszybsze z nich poruszają się z prędkością prawie równą prędkości światła, która wynosi 300.000 kilometrów na sekundę.

Wszystkie te cząstki pochodzą z jąder atomów substancji promieniotwórczych. Np. jądro atomu radu wysyła cząstki α . Ma ono bardzo złożoną budowę i możemy się łatwo zorientować z czego się składa stosując zasady wyżej wyłożone. Rad ma liczbę atomową 88. Wobec tego jest 88 protonów w jądrze atomu radu. Jego ciężar atomowy jest 226. Znajdujemy liczbę neutronów w jądrze, odejmując liczbę atomową od ciężaru atomowego. Odpowiedź jest 138. Otóż nie należy przypuszczać, że każdy z tych 88 protonów i 138 neutronów istnieje w jądrze niezależnie i osobno. Tworzą one grupy, a wśród tych grup są z pewnością i grupy, złożone z 2 protonów i 2 neutronów, stanowiące jądra helowe. Zrozumiemy łatwo, że taka grupa może zachowywać się jako samodzielna jednostka, kiedy poznamy powody trwałości jądra helu. Właśnie taka grupa zostaje wystrzelona z jądra radu jako samodzielna jednostka i tworzy cząstkę α .

Jaki ma wpływ na rad utrata cząstki α przez jądro jego atomu? Widzieliśmy, że cząstka α ma ciężar atomowy 4 i posiada nabój równy 2 dodatnim jednostkom. Tracąc cząstkę α jądro radu zmniejsza więc swój ciężar o 4 i swój nabój o 2. Atom radu staje się więc atomem zupełnie nowej substancji, która zajmuje miejsce w tablicy pierwiastków o dwa numery wstecz.

Cząstki β .

Powiedzieliśmy, że cząstki β to są po prostu elektrony. Ale, jak wiemy, jądra wszelkich atomów, także i promienio-

twórczych, składają się wyłącznie z protonów i neutronów, a elektronów nie zawierają wcale. Jakże więc jądra atomów promieniotwórczych mogą wysłać elektrony? Odpowiedź na to pytanie jest bardzo prosta i nawet niejako narzuca się sama, pomimo to jednak może trochę zaskoczy czytelnika. Elektron powstaje w jądrze dopiero w chwili, kiedy ma być wysłany na zewnątrz jako cząstka β . Towarzyszy temu powstaniu elektronu w jądrze równoczesna przemiana któregoś z neutronów jądrowych w proton. Mówiliśmy przed chwilą, że pierwiastek promieniotwórczy po wysłaniu cząstki α staje się nowym pierwiastkiem o ciężarze atomowym o 4 mniejszym i o liczbie atomowej o 2 mniejszej. Nie jest to przypuszczenie, a fakt stwierdzony doświadczalnie. Podobnie jest faktem doświadczalnym, że pierwiastek promieniotwórczy po wysłaniu cząstki β staje się nowym pierwiastkiem o liczbie atomowej o 1 większej; ciężar atomowy pozostaje natomiast bez zmiany. Ale wzrost liczby atomowej o 1 oznacza, że nabój jądra wzrósł o 1, czyli że liczba protonów w jądrze zwiększyła się o 1. Ponieważ jednak ciężar jądra pozostał niezmienny, więc jednocześnie z wzrostem liczby protonów o 1, liczba neutronów w jądrze musiała się zmniejszyć o 1 (jak wiemy, różnica ciężarów neutronu i protonu jest tak znikomo mała, że można ją zaniedbać). Stąd właśnie wniosek, że podczas emisji cząstki β któryś z neutronów jądrowych przemienia się w proton.

Twierdzenie, że elektron tworzy się dopiero w chwili, kiedy opuszcza jądro atomu promieniotwórczego, wnosi coś zupełnie nowego i niezmiernie ważnego do naszych wiadomości o budowie materii. Spotykamy się tu bowiem po raz pierwszy z faktem, który zmusza nas do przyjęcia, że elektron nie jest bynajmniej odwieczną cząstką, która nie ulega żadnym przeobrażeniom. Mamy tu przykład procesu fizycz-

nego, w którym elektron powstaje. Zapoznamy się później z innym jeszcze przykładem takiego procesu i zobaczymy, że jest również proces odwrotny, w którym elektron znika, przestaje istnieć, przeobraża się w coś innego. Wspomnimy tu jeszcze, że emisja cząstek β przez substancje promieniotwórcze sprawia fizykom pewien dosyć poważny kłopot, zupełnie nieoczekiwanego rodzaju. Mówiliśmy, że według zasady zachowania energii, od której wyjątków nigdy dotychczas nie obserwowano, energia ani nie może powstawać z niczego, ani też nie może być unicestwiona. Energia często zmienia swą postać, np. z energii ruchu przekształca się w energię ciepłą, ale całkowita ilość energii pozostaje stała przy wszelkich takich przemianach. Otóż bliższe zbadanie zjawiska przemiany jednego pierwiastka promieniotwórczego w inny, przy jednoczesnej emisji cząstki β , pokazało, że podczas tego procesu pewna ilość energii znika bez śladu. Przez dokładne sporządzenie „bilansu energii“ stwierdza się niezbicie, że części energii brak. Cóż się z nią stało? Byłoby to wyjątek od wszechwładnej zasady zachowania energii? Stwierdziwszy braki w kasie bardziej skłonni jesteśmy oskarżyć kasjera o defraudację niż przyjąć, że pewna ilość pieniędzy zamieniła się w nicość. Podobnie fizycy nie chcą uwierzyć, że rzeczywiście pewna ilość energii zamieniła się w nicość i poszukują defraudanta. Trzeba stwierdzić, że dotychczas nie udało się im go schwytać. Ale ponieważ są jeszcze inne poszlaki, że defraudant naprawdę istnieje, więc zaczęto się zastanawiać, czym to się dzieje, że potrafi on tak dobrze się ukrywać. Wyniki śledztwa są następujące: defraudant jest elektrycznie obojętną cząstką materialną o masie znikomo małej, bo prawdopodobnie znacznie mniejszej od masy elektronu i właśnie te dwie cechy — znikoma masa i brak naboju elektrycznego — sprawiają, że nikomu nie udało się dotąd bezpośrednio jej zaobserwować. Hipotetycz-

ną tę cząstkę nazwano „neutrino“. Przyjmuje się, że neutrino powstaje jednocześnie z elektronem (czyli z cząstką β) przy przemianie neutronu w proton i że jednocześnie z elektronem jest emitowane przez jądro promieniotwórcze; oraz, że energia ruchu neutrino jest właśnie ową brakującą, „zdefraudowaną“ energią. W ten sposób neutrino ratuje zachwianą wszechważność zasady zachowania energii.

Przemiana pierwiastków.

Rad zamienia się w inną substancję, która zamienia się w jeszcze inną, a ta z kolei zamienia się w jeszcze inną i tak dalej. Substancją, do której się w końcu dochodzi, jest ołów, a ołów okazuje się już trwałym, nie ulega dalszemu rozpadowi. Rad przechodzi kilkanaście etapów zanim stanie się ołowiem. Niektóre z tych pośrednich substancji wysyłają cząstki α i w ten sposób przemieniają się w coś innego; inne ulegają przemianie wysyłając cząstki β . Te, które wysyłają cząstki α , cofają się o dwa kroki w tablicy pierwiastków; te, które wysyłają cząstki β , posuwają się naprzód o jeden krok.

Tak więc rad staje się ołowiem w sposób podobny do żaby, która się wydostaje ze studni robiąc dwa kroki w górę w dzień i spadając krok wstecz w nocy. Ale, w wyniku końcowym, rad, który wyrusza mając ciężar atomowy 226, osiąga ołów mając ciężar atomowy 206 i spada przy tym z miejsca 88 w tablicy pierwiastków do miejsca 82.

Jeśli rozpoczniemy od innej substancji promieniotwórczej, od toru, to znowu po długim szeregu przemian osiągniemy ołów. Ale ołów, który w ten sposób osiągamy, ma ciężar atomowy 208 zamiast 206. Oto znowu przykład izotopów, czyli atomów tej samej substancji, ale o różnych ciężarach atomowych. Istnienie izotopów daje wytłumaczenie faktu, że ciężary atomowe, znalezione przez chemików, często wyrażają się liczbami niecałkowitymi, ułamkowymi. A więc ciężar

1.



1. Zdjęcie komory Wilsona w polu magnetycznym. Materializacja pary elektronów, dodatniego i ujemnego. Punkt, w którym foton promieniowania przekształcił się w parę elektronów, znajduje się na przecięciu przedłużenia strzałek.

2.



2. Porównanie toru cząstki α (gruby, prosty tor) z torami elektronów dodatniego i ujemnego (dwa cienkie, w przeciwnych kierunkach zakrzywione, tory).

atomów chloru, podany w tablicy pierwiastków, jest 35,46. Dla żelaza wynosi on 55,84; dla miedzi 63,57; dla złota 197,2; i tak dalej. Wszystkie te ciężary ułamkowe są spowodowane przez fakt, że atomy o różnych ciężarach w każdej próbce badanej substancji są razem zmieszane. Jeśli atomy się posortuje, to stwierdza się, że ich ciężary są zawsze z dużym przybliżeniem liczbami całkowitymi.

Pierwiastkiem, z którym może najczęściej spotykamy się w reakcjach chemicznych, jest tlen i dlatego ciężar atomu tlenu został przyjęty jako wzorzec, z którym inne atomy są porównywane. Atom tlenu jest prawie szesnaście razy cięższy od atomu wodoru. Dla wygody przyjęto więc, że ciężar atomowy atomu tlenu wynosi d o k ł a d n i e 16. Przy takiej umowie ciężary wszystkich innych atomów wyrażają się z bardzo dobrym przybliżeniem liczbami całkowitymi, z jednym wyjątkiem. Tym wyjątkiem jest wodór. W tej skali wodór jest jedynym pierwiastkiem, którego ciężar atomowy nie jest liczbą całkowitą, chyba żebyśmy chcieli się zadowolić bardzo grubym przybliżeniem. Wynosi on nie 1, a 1,008. Jest to bardzo godny uwagi i zagadkowy fakt. Atom wodoru składa się, jak widzieliśmy, z jednego protonu i z jednego elektronu. Ciężar elektronu może być zanedbany i dlatego ciężar atomu wodoru to praktycznie ciężar protonu. Neutron ma ciężar praktycznie równy ciężarowi protonu, a w rzeczywistości nawet odrobinę większy, mianowicie 1,009. A jednak atom helu, którego ciężar tworzą dwa protony i dwa neutrony, ma ciężar atomowy 4,003. Atom helu zawiera więc dwa protony i dwa neutrony, a waży mniej niż dwa protony i dwa neutrony razem wzięte! Jak to może być?

Ważne twierdzenie.

Odpowiedź na to pytanie tłumaczy również niezwykłą trwałość jądra helowego, o której wspominaliśmy. Odpowie-

Z czego zbudowany jest świat



dzi tej dostarcza jedno z twierdzeń teorii względności. Tym twierdzeniem jest równoważność masy i energii.

Na szczęście nie jest rzeczą konieczną znać teorię względności, aby móc zrozumieć to twierdzenie. Dopóki się nie pojawił Einstein, uważano zawsze, że masa jakiegoś ciała jest czymś zupełnie niezmiennym. Czy ciało jest gorące, czy zimne, czy znajduje się w ruchu, czy w spoczynku, zawsze ma tę samą masę według tego poglądu. Oczywiście uznawano, że energia może się zmieniać. Jeśli wprawiamy ciało w ruch, to zwiększamy jego energię, bo ma ono teraz energię ruchu. Jeśli ciało ogrzewamy, to zwiększamy jego energię, bo dostarczamy mu energii cieplnej. Ale nie przypuszczano, że zmianom energii mogą towarzyszyć zmiany masy. Teoria względności zmieniła całkowicie te poglądy.

Wiemy obecnie, że energia posiada masę i że masa może być przemieniona w energię. Każde ciało waży więcej kiedy jest gorące, niż kiedy jest zimne. Nadwyżka energii cieplnej ma pewną masę, którą trzeba dodać do pierwotnej masy ciała. Każde ciało ma masę większą kiedy jest w ruchu, niż kiedy jest w spoczynku. Energia ruchu zwiększyła masę ciała. Istnienia tych zmian nigdy nawet nie podejrzewano, a to z tego powodu, że trzeba olbrzymich zmian energii, aby uczynić różnicę mas dostępną pomiarom.

Rozpatrzmy na przykład wzrost masy spowodowany przez energię ruchu. Pociąg pędzący z prędkością stu kilometrów na godzinę ma masę większą niż ten sam pociąg, kiedy stoi. Ale najsubtelniejsze przyrządy świata nie są w stanie wykryć tej różnicy. Dopiero kiedy zbliżamy się do prędkości światła, wzrost masy staje się mierzalny. Otóż znamy bardzo niewiele ciał, które poruszają się z prędkością choć w pewnym stopniu porównywalną z prędkością światła. Musimy pamiętać, że światło biegnie z prędkością tak wielką, że mogłoby okrążyć kulę ziemską przeszło siedem razy w ciągu jed-

nej sekundy. Oczywiście w porównaniu z tym pociągi pośpieszne, samochody wyścigowe i aeroplany bez mała nie poruszają się wcale. Natomiast elektrony, wysyłane przez ciała promieniotwórcze, poruszają się z olbrzymimi prędkościami, które przekraczają niekiedy dziewięć dziesiątych prędkości światła. Wzrost masy tych elektronów, spowodowany przez ich ruch, może być zmierzony.

Teoria Einsteina umożliwia nam dokładne obliczenie wzrostu masy zależnie od prędkości i doświadczenia całkowicie je potwierdzają. Np. przy prędkości równej połowie prędkości światła, masa wzrasta o jedną siódmą. Ciało, które w spoczynku waży 7 kilogramów, ważyłoby przeszło 8 kilogramów, jeśli się poruszało z prędkością równą połowie prędkości światła. Przy prędkości $\frac{9}{10}$ prędkości światła masa jest prawie dwa i pół razy większa niż w spoczynku, a przy prędkości $\frac{99}{100}$ prędkości światła — siedem razy większa. Mamy więc bezpośrednie dowody doświadczalne na to, że energia ruchu posiada masę. A ponieważ wszelkie postaci energii mogą się przekształcać jedna w drugą, więc wolno nam wnioskować, że wszelka energia posiada masę.

Energia posiada masę.

Podczas łączenia się substancji w związek chemiczny wydziela się pewna ilość ciepła. Ciepło to zostaje wypromieniowane w przestrzeń. Ale ciepło będąc pewną postacią energii ma masę. A więc pewna ilość masy zostaje wypromieniowana w przestrzeń. Natomiast substancje, które utworzyły związek, mają masę mniejszą niż przed złączeniem się. Ta różnica jest we wszystkich znanych nam procesach chemicznych za mała na to, aby móc ją zmierzyć, ale można ją obliczyć. Energia utracona w ten sposób, „energia wiązania“, jest miarą trwałości związku, jest miarą ilości energii potrzebnej na to,

żeby związek chemiczny rozerwać. Wynosi to zwykle bardzo niewiele.

Możemy zazwyczaj rozłożyć związek chemiczny po prostu przez niewielkie podniesienie jego temperatury. Związek chemiczny nie posiada zbyt trwałej budowy. Ale wyżej była mowa o budowie jądra helowego, która jest tak niezwykle trwała, że nawet tak potężne wybuchowe siły, jak te które działają w przemianach promieniotwórczych nie są w stanie jej rozbić. Widzieliśmy także, że jądro helowe, chociaż składa się z 2 protonów i 2 neutronów, waży mniej niż 2 protony i 2 neutrony wzięte oddzielnie. Ale 2 protony i 2 neutrony, które składają się na jądro helu, tworzą pewien związek. Tu mamy więc wyjaśnienie zagadki. Bo temu złączeniu się w związek musiało towarzyszyć wypromienowanie energii. Ta energia ma masę.

Dlatego złączeniu się protonów i neutronów w jądro helu musiała towarzyszyć utrata masy. Jak wielka jest ta utrata masy? To łatwo obliczyć: Proton waży 1,008, neutron — 1,009. Czyli 2 protony i 2 neutrony ważą razem 4,034. Natomiast jądro helu waży 4,003. Różnica między 4,034 i 4,003 daje więc nam masę, która została utracona przy łączeniu się 2 protonów i 2 neutronów w jądro helu. Ilość energii równoważna tej masie jest rzeczywiście olbrzymia. Jest ona kilka milionów razy większa niż energia wiązania zwykłych związków chemicznych. A widzieliśmy, że energia wiązania, czyli energia utracona przy łączeniu się substancyj w związek chemiczny, jest miarą trwałości tego związku. Stąd wniosek, że trwałość jądra helowego jest kilka milionów razy większa niż trwałość zwykłych związków chemicznych.

XIV

PROMIENIOWANIE SŁOŃCA I GWIAZD

Tworzenie się jąder helowych wskazuje nam, że masa może być przemieniona w energię. Widzieliśmy także, że dostarczając energii jakiemuś ciału zwiększamy jego masę. Energia i masa mogą przemieniać się wzajemnie. Kawałek materii może być uważany za energię w olbrzymiej ilości, skupioną w małej objętości. Gdybyśmy mogli sztucznie łączyć protony i neutrony w jądra helowe, to mielibyśmy źródło energii o wiele potężniejsze niż jakiekolwiek z tych, które obecnie zużytkowujemy.

Unicestwianie materii.

Ale jeszcze potężniejszym źródłem energii byłoby unicestwianie materii. Byłoby to najpotężniejsze źródło energii, jakie w ogóle jest możliwe. Materia mogłaby być na przykład unicestwiona częściowo przez zespolenie się protonów i elektronów. Jeśli proton i elektron zespoliły się, to wynikiem tego byłby potężny błysk promieniowania. Proton i elektron przestałby istnieć, a raczej przekształciłby się w energię owego błysku. Mielibyśmy przekształcenie się materii w energię.

Energia, którą by można otrzymać w ten sposób, jest istotnie zadziwiająca. Unicestwienie kilograma węgla wytworzyłoby mniej więcej tyle energii, co spalenie miliona ton. Unicestwiając kilka gramów węgla miałoby się dosyć energii na utrzymywanie przez miesiąc całego ruchu kolejowego w Anglii. Podobnie unicestwienie jednej kropli ropy dałoby

więcej energii niż ta, którą zużywa „Queen Mary“ na przebycie Atlantyku.

Gwiazdy.

Pochodzenie olbrzymich ilości energii, bezustannie promieniowanych przez gwiazdy, długo było zagadką. Można udowodnić, że gwiazdy promieniają już od miliardów lat. Skąd się ta energia bierze? Na przykład nasze słońce promieniuje z każdego centymetra kwadratowego swej powierzchni energią zdolną bez przerwy poruszać trzydziestokonny motor. A nasze słońce nie jest bynajmniej jakąś szczególnie zasobną w energię gwiazdą. Są gwiazdy, których wydajność promieniowania wynosi kilka tysięcy kilowatów z jednego centymetra kwadratowego.

Gdyby gwiazdy były z węgla, to by się wypaliły całkowicie w ciągu kilkuset, a najwyżej kilku tysięcy lat. Musimy więc znaleźć źródło, które by mogło mieć tę straszliwą wydajność promieniowania przez miliardy lat. Jedynym źródłem, które spełnia ten warunek w zupełności, jest unicestwienie materii. Musimy przyjąć, że materia gwiazd unicestwia się bezustannie, aby dostarczyć ich promieniowaniu takiej energii. Unicestwienie bardzo małej ilości materii wystarcza, jak widzieliśmy, do uzyskania ogromnych ilości energii. Jednak energia, którą gwiazdy promieniają, jest tak wielka, że utrata materii przybiera olbrzymie rozmiary. Np. słońce traci swą masę z prędkością 250 milionów ton na minutę, czyli 360.000 milionów ton na dobę. Wczoraj słońce ważyło o 360.000 milionów ton więcej niż dzisiaj, a jutro będzie ważyło jeszcze o 360.000 milionów mniej. Masa słońca jest jednak tak ogromna, że wytrzyma ono taką wydajność promieniowania jeszcze przez 15 milionów milionów lat.

Początkowo masa słońca musiała być o wiele większa niż obecnie. Z każdej tony materii, z której się początkowo słoń-

ce składało, pozostało zaledwie kilkadziesiąt kilogramów. Cały wszechświat tak samo powoli topnieje na promieniowanie. Jak mówi Sir J. H. Jeans „jesteśmy w sytuacji niedźwiedzi polarnych na górze lodowej, która się odłączyła od zwartej skorupy lodowej pokrywającej biegun i która topnieje w sposób nieunikniony, w miarę jak płynie ku cieplejszym szerokościom i ostatecznej zagładzie“.

Promienie kosmiczne.

Przytoczyliśmy przed chwilą argumenty świadczące o tym, że w gwiazdach zachodzi unicestwienie materii na wielką skalę. Lecz jest jeszcze inny dowód na to, że gdzieś w najbardziej odległych przestrzeniach wszechświata odbywają się jakieś potężne, katastrofalne procesy, w których wyzwalamy ogromne ilości energii. Jest nim istnienie tzw. promieni kosmicznych. Promienie kosmiczne przybywają bowiem do nas ze wszystkich stron wszechświata i niosą z sobą energię fantastyczną.

Czymże są te promienie kosmiczne? Na to pytanie jeszcze nie umiemy dać odpowiedzi jasnej i ostatecznej. Początkowo przypuszczano, że są one promieniowaniem tego samego typu, co fale świetlne, ale posiadającym niesłychanie małą długość fali. Wiemy bowiem, że im krótsza jest długość fali promieniowania, tym jest ono przenikliwsze, a promieniowanie kosmiczne ujawnia niesłychaną przenikliwość. Jest ono przenikliwsze nie tylko od promieni X, ale również od promieni gamma, wysyłanych przez substancje promieniotwórcze, tak że nazywano je niekiedy promieniowaniem ultra-gamma.

Obecnie jest rzeczą widoczną, że promieniowanie kosmiczne jest zjawiskiem nadzwyczaj złożonym. Podlega ono w atmosferze ziemskiej bardzo różnorodnym przeobrażeniom, na skutek czego trzeba bardzo żmudnych i trudnych analiz, aby

na podstawie tego, co obserwujemy w dolnych warstwach atmosfery, domyślić się, jak wygląda ono u jej krańców. W każdym razie jest dziś rzeczą pewną, że — wbrew pierwotnym przypuszczeniom — głównym składnikiem promieniowania kosmicznego są cząstki materialne, elektrycznie zarówno ujemne jak i dodatnie. Stwierdzono bowiem, że promieniowanie kosmiczne silnie podlega wpływowi pola magnetycznego, które otacza kulę ziemską. Otóż — jak wiemy — cząstki naelektryzowane zmieniają kierunek swego biegu pod wpływem pola magnetycznego, natomiast nie ma ono wcale wpływu na bieg fal elektromagnetycznych, czyli fal tego typu co świetlne. Cóż to są te cząstki, z których składa się promieniowanie kosmiczne? Są wśród nich elektrony, może i protony, ale z pewnością także i jeszcze inne cząstki materialne, o których pokrótce będzie mowa później.

Podamy teraz liczby, które charakteryzują energię i przenikliwość promieni kosmicznych. Otóż niektóre spośród cząstek promieniowania kosmicznego są w stanie przejść przez kilka metrów ołowiu, i dla nadania im ich energii trzeba by napięcia elektrycznego kilkuset miliardów volt! Dla porównania wspomnimy, że najbardziej przenikliwe promieniowanie substancji promieniotwórczych, promieniowanie gamma, przechodzi przez co najwyżej kilka centymetrów ołowiu i odpowiada energii dwóch i pół miliona volt. Promieniowanie kosmiczne można obserwować jeszcze na kilkaset metrów pod powierzchnią wody, a także i w kopalniach. Nie ma innego sposobu schronienia się przed nim jak w głębinach mórz albo gdzieś we wnętrzu ziemi. Promieniowanie to, które przecież stale przez nasze ciało przechodzi, w każdej chwili rozbija w nim tysiące atomów. Każda istota, która kiedykolwiek żyła na ziemi, musiała być bezustannie przesiąknięta promieniowaniem kosmicznym.

XV

TEORIA KWANTÓW

Jak widzieliśmy, wyobrażenie nasze, iż atom składa się z elektronów krążących dokoła jądra, wystarcza do wyjaśnienia wielu rozmaitych zjawisk. Wyjaśniliśmy sobie, dzięki temu wyobrażeniu, rozpraszanie się cząstek α przy przenikaniu cienkich blaszek metalowych, istnienie izotopów oraz zmiany, wydarzające się w zjawiskach promieniotwórczości. Widzieliśmy również, iż można rozwiązać niektóre bardzo ważne zagadnienia astronomiczne przez zastosowanie do nich naszej teorii, dotyczącej atomu. Nie ulega wątpliwości, iż nasz obraz atomu jest w bardzo znacznym stopniu prawdziwy. Jest on oparty na doświadczeniu i w tym fakcie tkwi głównie jego siła. Okazało się jednak, iż istnieje przeszkoda, absolutnie uniemożliwiająca przyjęcie tego obrazu atomu.

Teoretycy przy pracy.

Teoretycy mogli dowieść, że istnienie takiego atomu nie mogłoby być trwałe! Dowiedli oni, że gdyby materia rzeczywiście składała się z atomów o takiej budowie, to cały świat materialny musiałby być od dawna przestać istnieć. Obliczenia te były oparte na zasadach, przyjętych w nauce o elektromagnetyzmie. Zgodnie z tymi zasadami, elektron krążąc dokoła jądra musiałby stale wypromieniowywać energię. W następstwie tej straty energii elektron musiałby zbliżać się do jądra. Proces ten musiałby trwać dopóty, aż elektron spadłby na jądro. Wówczas atom musiałby przestać istnieć. Dokładność tych obliczeń nie ulega wątpliwości.

Okazało się, iż badania matematyczne przeczą możliwości istnienia atomu takiego, jaki sobie wyobraziliśmy. A jednak do wyobrażenia tego zmusiły nas doświadczenia! Teoretycy nie mogli wymyślić budowy atomu, która pasowałaby do doświadczeń, eksperymetatorzy zaś nie mogli wymyślić budowy atomu, która by odpowiadała wymaganiom teoretyków.

Sprzeczność tę można było rozwiązać tylko przez oświadczenie, iż obliczenia były oparte na mylnych przesłankach. Oświadczenie takie było czymś nadzwyczaj niepowszednim, ponieważ mieściło się w nim odrzucenie podstawowych zasad nauki o elektryczności, uważanych za niemniej pewne niż jakakolwiek inna zasada naukowa. Pomimo to jednak przyjęto takie rozwiązanie; zobaczymy to niebawem, lecz przedtem rozpatrzmy inną kategorię zjawisk, w której również obalone zostały podstawowe zasady.

Obalone zasady.

Wyobraźmy sobie pustą kulistą łupinę i przypuśćmy, że łupina ta jest utrzymywana w stałej temperaturze. Wyobraźmy sobie również, iż materiał tej łupiny jest taki, że nie pozwala ciepłu uchodzić na zewnątrz. Przestrzeń wewnątrz łupiny jest wypełniona promieniowaniem cieplnym. Otóż ciepło, podobnie jak światło, istnieje w postaci fal. Przestrzeń wewnątrz łupiny jest więc wypełniona falami cieplnymi, wędrującymi tam i z powrotem we wszystkich kierunkach i wciąż odbijającymi się od ścian wewnętrznych łupiny. Nie wszystkie te fale są jednakowej długości. Wewnątrz naszej zamkniętej przestrzeni mamy wędrujące fale krótkie, długie oraz o długości pośredniej. Jest tam całe mnóstwo grup fal, przy czym każda grupa zawiera pewną część całkowitej energii promieniującej, zawartej wewnątrz naszej zamkniętej przestrzeni. Część tej energii istnieje w postaci fal krótkich,

część w postaci fal długich oraz część w postaci fal o długości pośredniej.

Powstaje teraz ciekawe zagadnienie, jaka część całkowitej ilości energii zawarta jest w każdej grupie fal? Czy części te są jednakowej wielkości, jeśli zaś tak nie jest, to jaki jest stosunek tych wielkości? Otóż zagadnienie to można rozwiązać w drodze matematycznej. Można je również rozwiązać doświadczalnie. Jeśli bowiem zrobimy w naszej łupinie mały otwór, to niektóre promieniowania wydostaną się na zewnątrz i promieniowania te możemy zbadać szczegółowo. Promieniowanie wydostające się przez otwór będzie zupełnie dobrą próbką promieniowań wewnątrz łupiny. Doświadczenie to zostało starannie przeprowadzone, również starannie dokonano obliczeń, i ujawnił się ciekawy fakt, że rezultaty doświadczenia i obliczeń są zupełnie sprzeczne. Z obliczeń wynika, że największą ilość energii powinny zawierać fale najkrótsze, doświadczenie zaś wykazuje, że fale najkrótsze zawierają najmniej energii.

Sprzeczność.

Sprzeczności tej nie można usunąć przez poprawianie szczegółów obliczenia matematycznego. Chcąc uzgodnić obliczenie z doświadczeniem trzeba oprzeć to obliczenie na zupełnie nowych zasadach. Trzeba odrzucić dawne podstawowe prawa naukowe i zastąpić je przez inne, zupełnie odmienne. Istotnie, sytuacja wymaga całkowitego przewrotu w pojęciach naukowych.

Czytelnik pomyśli sobie, że mówiąc tak robimy zbyt dużo zamętu z powodu jednego doświadczenia. Jednak widzieliśmy wyżej, że znaleźliśmy się w takim samym kłopotcie z naszą teorią dotyczącą atomu. Przekonamy się później, że są jeszcze inne zjawiska, których nie podobna wyjaśnić za pomocą dawnych zasad. Jest kilka różnych dowodów, świadczą-

cych, iż potrzeba przewrotu jest paląca. Gdyby do wyjaśnienia każdego z tych zjawisk potrzebna była specjalna zasada, to położenie nasze byłoby doprawdy beznadziejne. Okazało się jednak, że te same zasady, które pozostają w zgodzie z jednymi zjawiskami, stosują się również dobrze do wszystkich pozostałych. Jeden i ten sam klucz pasuje do wszystkich.

Teoria kwantów.

Pierwszy krok w kierunku ustalenia nowych zasad zrobił fizyk niemiecki Max Planck w r. 1900. Obmyślił on wyjaśnienie eksperymentu z promieniowaniem, który dopiero co opisaliśmy.

Wypowiedział on przypuszczenie, że gorąca łupina wysyła energię promieniowania nie w postaci ciągłego prądu, lecz jako *a t o m y* energii. Przyjął on, że energia zostaje wyrzucona w przestrzeń w małych porcjach skończonej wielkości. Jest to wyobrażenie niezwykle. Oświadczenie, iż energia składa się z atomów, oszałamia. Rozważmy np. wirujące koło zamachowe. Wiemy, iż posiada ono energię dzięki swemu ruchowi obrotowemu, i że ilość tej energii jest tym większa, im szybciej koło się obraca. Oczywiście przypuszczamy, że jeśli szybkość jego wzrasta ze 100 do 101 obrotów na minutę, to przechodzi ona przy tym wszystkie szybkości pośrednie pomiędzy 100 i 101. Wydaje się niemożliwym do pomysłenia, aby przeskoczyła ona nagle ze 100 na 101 obrotów.

A jednak w ten sposób dziać się to musi, jeśli energia składa się z atomów. W takim razie bowiem energia może powiększać się co najmniej o jeden atom. Koło zamachowe nie może mieć szybkości, odpowiadającej tyłu to a tyłu atomom z ułamkiem. W gruncie rzeczy atomy energii są tak drobne, że przyrost szybkości koła zamachowego, odpowiadają-

cy jednemu atomowi, musi być nieskończenie mały. Atomy energii nabierają znaczenia dopiero wówczas, gdy rozważamy zjawiska, w których wchodzi w grę atomy materii. Taka była więc teoria, wysunięta przez Plancka. Nazwał on atomy energii *k w a n t a m i* (quanta), teoria zaś otrzymała nazwę *teorii kwantów*. Jest to jedna z najśłynniejszych i najważniejszych teorii w nauce współczesnej.

Teoria Bohra.

Teoria Plancka pozwoliła swemu twórcy dokładnie uzgodnić obliczenia z doświadczeniem w przypadku zjawisk promieniowania. Świetny młody fizyk duński, Niels Bohr, wpadł na myśl, że ta sama teoria może dać rozwiązanie trudności z atomem. Elektrony, krążące w atomie, posiadają energię dzięki swemu ruchowi obrotowemu. Jeśli energia składa się z atomów, to można z tego wyprowadzić pewne wnioski, dotyczące orbit elektronów.

Bohr wykazał, że orbity te mogą znajdować się tylko w pewnych określonych odległościach od jądra. Np. w przypadku atomu wodoru, krążący elektron może obiegać jądro tylko w pewnych określonych odległościach, nie może jednak krążyć w odległościach pośrednich pomiędzy tamtymi. Istnieje pewne minimum odległości, w której może on krążyć i tam jest pierwsza orbita.

Druga orbita, po której może on krążyć, otacza pierwszą w pewnej określonej odległości. Elektron nie może krążyć po jakiejś orbicie, leżącej pomiędzy pierwszą i drugą. Istnieje trzecia orbita, czwarta itd. Jeśli jakaś siła zewnętrzna działa na elektron, to przeskakuje on bezpośrednio z jednej na jakąś inną z możliwych orbit. Jeśli siła zewnętrzna nie jest dość znaczna, aby spowodować całkowity przeskok elektronu, to elektron po prostu na nią nie reaguje. Siła taka nie wywiera na elektron żadnego wpływu. Energia dostarczona

z zewnątrz elektronowi musi równać się co najmniej jednemu kwantowi.

Bohr przyjął również, iż elektron, krążący po jednej z tych orbit, nie wypromieniowuje wcale energii. Założenie to jest wyraźnie sprzeczne z klasycznymi zasadami nauki o elektryczności, lecz jest konieczne. Inaczej, jak widzieliśmy, istnienie atomu nie mogłoby być trwałe.

Jakie jest eksperymentalne uzasadnienie teorii Bohra? Odpowiadając na to pytanie musimy pamiętać, że jedno z najważniejszych wymagań, jakim winna czynić zadość każda teoria atomu, polega na należyтым uwzględnieniu widma. Widmo jest główną nicią przewodnią przy badaniu budowy atomów każdej substancji. Dlatego też opowiemy tu pokrótce, co rozumiemy pod nazwą widma.

XVI

DO CZEGO SŁUŻY SPEKTROSKOP

Spektroskop jest to przyrząd do analizowania światła. Odsłonił on nam tyle ważnych wiadomości, że najlepiej będzie opisać go całkowicie. Każda badana substancja musi być przede wszystkim doprowadzona do stanu żarzenia, musi świecić; ponieważ zaś niemal wszystko na niebie świeci, przeto przyrząd ten ma rozległe zastosowanie w astronomii.

Analizowanie światła.

Gdy mówimy o analizowaniu światła, mamy na myśli rozszczepianie światła na fale różnych długości. To, co nazywamy światłem, jest szeregiem drobnych fal w eterze i fale te, jeśli je mierzyć, że tak powiemy, od szczytu do szczytu, są różnych długości. Każda długość fali odpowiada pewnej barwie tęczy. Najkrótsze fale dają nam wrażenie barwy fioletowej, najdłuższe zaś — wrażenie barwy czerwonej. Tęcza w istocie jest rodzajem naturalnego spektroskopu. (Tęcza polega na tym, że nasycone wilgocią powietrze dzieli fale światła słonecznego podług ich długości).

Najprostsza postać spektroskopu jest pryzmat szklany — kawałek szkła o trójkątnym przekroju. Gdy białe światło (np. światło słoneczne) przechodzi przez szklany pryzmat, widzimy szereg barw tęczy. Każdy może zauważyć to zjawisko, gdy światło słoneczne przechodzi przez jakiś przedmiot ze rżniętego szkła, np. przez korek karafki do wina. Jeśli skierujemy barwne światło, wychodzące z pryzmatu szklanego, nie na oko lecz na ekran, to zauważymy, że barwy te

przechodzą w sposób ciągły od czerwonej na jednym brzegu ekranu, przez pomarańczową, żółtą, zieloną, niebieską oraz indygo do fioletowej na drugim brzegu. Inaczej mówiąc światło, które nazywamy białym, składa się z promieni tych kilku barw. Łącznie dają one wynik, który zwiemy białym. I podobnie jak wodę można rozłożyć na dwa składniki, wodór i tlen, tak i światło słoneczne można rozszczepić na jego pierwiastkowe barwy, wymienione właśnie powyżej.

Ten szereg barw, otrzymany dzięki spektroskopowi, nazywamy widmem słonecznym i są to, z punktu widzenia spektroskopowego, barwy pierwiastkowe. Każdy odcień ma swe określone położenie w widmie. Znaczy to, że światło każdego odcienia (odpowiednio do długości jego fali) przy przejściu przez szklany pryzmat ulega załamaniu pod pewnym kątem. Każdy możliwy rodzaj światła ma swe określone położenie i jest oznaczany liczbą, wskazującą długość fali drgań, które tworzą ten właśnie rodzaj światła.

Identyfikowanie różnych substancji.

Oprócz światła słonecznego można analizować i inne rodzaje światła. Można w ten sam sposób zbadać za pomocą spektroskopu światło dowolnej substancji, doprowadzonej do stanu świecenia i wyodrębnić każdy pierwiastek. Stwierdzono, iż każda substancja (w tych samych warunkach ciśnienia itd.) daje stałe swoiste widmo. Każdy pierwiastek wykazuje własne wyróżniające go barwne linie, czyli własne widmo, które stanowi taki sam niezawodny środek do zidentyfikowania danego pierwiastka, jakim jest twarz ludzka w stosunku do jej posiadacza. Dla spektroskopu jest rzeczą obojętną, czy świecąca substancja znajduje się w laboratorium, czy na odległej gwiazdzie; jeśli tylko światło jakieś substancji dosięgnie spektroskopu zostanie

ona rozpoznana i zidentyfikowana na podstawie swej charakterystycznej grupy fal. Dzięki tej metodzie, wykryto istnienie na słońcu takich dobrze znanych pierwiastków jak sód, żelazo, miedź, cynk i magnez.

Widmo świecącej masy gazowej składa się z pewnej ilości jasnych prążków różnych barw w różnych odstępach; każdy rodzaj gazu daje pewien szczególny, wyróżniający go układ jasnych prążków. Lecz jeśli przepuścić światło takiej rozżarzonej masy gazowej przez chłodną masę tegoż gazu, to okaże się, że na miejscu jasnych prążków wystąpią w widmie prążki ciemne, przyczyną zaś tego jest fakt, że chłodny gaz pochłania promienie światła, wysyłanego przez gaz rozżarzony. Doświadczenia tego rodzaju pozwalają nam wypowiedzieć ważne twierdzenie, iż każdy gaz w stanie chłodnym pochłania te same promienie światła, jakie wysyła będąc rozżarzonym.

Wykrycie składu słońca.

Widmo słoneczne przecięte jest wieloma setkami ciemnych prążków. Zrazu nie umiano tego wytłumaczyć, ponieważ nie był znany fakt selekcyjnego pochłaniania, o którym mówiliśmy wyżej. Obecnie rozumiemy to zjawisko. Białe światło słoneczne przychodzi do nas z fotosfery, lecz pomiędzy nami i fotosferą znajduje się inna powłoka słońca, którą tworzą chłodniejsze pary. Każdy pierwiastek, wchodzący w skład zewnętrznej powłoki, zatrzymuje swój własny rodzaj światła, to znaczy ten, jaki wytwarzają w fotosferze atomy tegoż pierwiastka. Te „zatrzymania“ zaznaczają się w widmie słonecznym przez ciemne prążki, występujące dokładnie w tych miejscach, gdzie znajdowały się odpowiednie jasne prążki. Gdy znaleziono to wyjaśnienie, ciemne prążki stały się równie wymowne jak jasne. Tajemnica składu słońca została ujawniona. Znaleźliśmy na słońcu praktycznie wszystkie

pierwiastki, których istnienie było znane na ziemi. Znaleźliśmy na słońcu pewien pierwiastek wcześniej, niż się nam udało wyodrębnić go na ziemi. Byliśmy w stanie nawet wskazać najchłodniejsze miejsca na słońcu, — środki plam słonecznych — jedyne miejsca, w których temperatura, jak się zdaje, obniżyła się dostatecznie na to, aby mogły powstawać związki chemiczne. Uzyskaliśmy również możliwość określenia składu gwiazd, komet i mgławic.

W r. 1868 Sir Norman Lockyer odkrył światło, wysyłane przez protuberancje słoneczne, którego nie dawała żadna substancja znana na ziemi, i przypisał je nieznanemu gazowi, który nazwał helium od greckiego wyrazu *helios*, słońce. W r. 1895 Sir Wiliam Ramsay odkrył w pewnych minerałach ten sam gaz, który został zidentyfikowany za pomocą spektroskopu. Możemy więc powiedzieć, że gaz ten został odkryty na słońcu prawie o trzydzieści lat wcześniej niż na ziemi; to odkrycie stanowi w historii badań naukowych rozdział nie mniej fascynujący niż jakakolwiek sensacyjna opowieść współczesna, i daje zupełną pewność, iż metody nasze istotnie informują nas, z jakich pierwiastków składają się gwiazdy i słońce.

Pomiary prędkości.

Lecz na tym nie koniec; znaleziono nowe zastosowanie spektroskopu. Okazało się, iż za jego pomocą możemy dokonywać pomiarów prędkości najtrudniejszej do zmierzenia, mianowicie prędkości w kierunku linii wzrokowej. Przemieszczenie w kierunku prostopadłym do linii wzrokowej, jeśli jest ono dostatecznie znaczne, łatwo jest wykryć, gdy zaś odległość poruszającego się ciała jest znana, to łatwo i zmierzyć. Jednak ruch w kierunku linii wzrokowej zarówno trudno

jest wykryć, jak i zmierzyć. Otóż właśnie przy tych olbrzymich odległościach, z jakimi mają do czynienia astronomowie, spektroskop pozwala wykryć taki ruch i dostarcza danych do jego zmierzenia. Jeśli świecące ciało, zawierające np. sód, porusza się szybko w kierunku spektroskopu, to okazuje się, że prążki sodowe w widmie przesuwają się nieco w stronę fioletowego brzegu, przy tym przesunięcie to jest tym znaczniejsze, im większa jest prędkość świecącego ciała. Jeśli ciało oddala się od spektroskopu, to prążki w widmie przesuwają się w kierunku odwrotnym, to znaczy ku czerwonemu brzegowi widma. W ten sposób wykryliśmy i zmierziliśmy ruchy, które inaczej prawdopodobnie nie ujawniłyby się dla nas w ciągu tysiącleci. W ten sam sposób wykryliśmy i zmierziliśmy prędkość potężnych ruchów na słońcu i zdobyliśmy dowód, że wielkie zaburzenia, jakich powinniśmy byli tam oczekiwać, istotnie się wydarzają.

Widmo i atom.

Celem każdej zadowalającej teorii atomu jest wyjaśnienie sprawy prążków w widmach różnych pierwiastków. Jak powiedzieliśmy wyżej, każdy pierwiastek ma swe zupełnie typowe prążki. Np. prążki w widmie wodoru występują zawsze w tym samym określonym miejscu. Promieniowanie, wysyłane przez świecący wodór, składa się z fal różnej długości. Każdy prążek w widmie odpowiada pewnej określonej długości fali. Różne prążki odpowiadają różnym długościom fali. Nie wszystkie długości fali występują w widmie wodoru. W widmie tym jest tylko pewna ilość prążków. Odstęp między tymi prążkami wskazuje, iż promieniowanie wodoru nie zawiera pewnych długości fali. Oczywiście, długości te mogą występować w promieniowaniu jakiegoś innego pierwiastka, np. helium. Wodór jednak nie ujawnia ich nigdy. Toteż aby wyjaśnić widmo jakiegoś pierwiastka,

musimy wytłumaczyć, dlaczego występują w nim tylko nie-które prążki i dlaczego występują one właśnie tam, gdzie je znajdujemy. Tu teoria atomu, podana przez Bohra, odniosła wspaniały sukces.

Różne orbity w atomie Bohra odpowiadają różnym poziomom energetycznym. Elektron, krążący po orbicie zewnętrznej, ma więcej energii, niż elektron, krążący po orbicie wewnętrznej. Gdy elektron przeskakuje z orbity zewnętrznej na wewnętrzną, wypromieniowuje on energię. Energia ta istnieje w postaci fal pewnej określonej długości i jeśli znane nam są orbity, pomiędzy którymi nastąpił przeskok elektronu, to możemy, dzięki teorii kwantów, obliczyć tę długość fali. Jeśli więc teoria Bohra jest prawdziwa, to powinniśmy być w stanie dokładnie przepowiedzieć, w jakich miejscach widma wodoru wystąpią prążki. Istotnie, każda próbka wodoru zawiera olbrzymie mnóstwo atomów. W pewnej ich części elektron krąży po pierwszej orbicie, w innych po drugiej, jeszcze w innych po trzeciej itd. Elektrony te wciąż przeskakują z jednej orbity na inną. Każdemu przeskokowi towarzyszy błysk promieniowania wysyłany przez dany atom. Przeskok z orbity czwartej na trzecią powoduje promieniowanie o pewnej określonej długości fali. Przeskok z trzeciej orbity na drugą powoduje promieniowanie o innej długości fali. Te długości fali, a nie żadne inne, winny wystąpić w widmie wodoru.

Jest więc wielką zasługą teorii Bohra, że pozwala nam ona obliczać te długości fali, i — co za tym idzie — położenie prążków w widmie z wielką dokładnością.

Nowe metody.

Wodór jest, jak wiemy, najprostszym z atomów i tutaj teoria Bohra może być stosowana szczegółowo. Innym prostym atomem jest zjonizowany atom helu. Zjonizowany atom

jest to atom, pozbawiony jednego albo więcej ze swych elektronów. W atomie helu, pozbawionym jednego elektronu, krąży już tylko jeden elektron i wobec tego atom helu pomijając jądro jest bardzo podobny do atomu wodoru. Dlatego teoria Bohra stosuje się z wielkim powodzeniem do zjonizowanego atomu helu. W przypadku bardziej złożonych atomów teoria Bohra wykazuje także spory stopień zgodności z doświadczeniem, chociaż w szeregu ważnych szczegółów zawodzi. Pewne obserwacje widmowe okazały się w zupełnej sprzeczności z teorią, a próby podtrzymania jej dały wyniki zupełnie niezadowalające. Ale w ciągu ostatnich kilkunastu lat wypracowano dwie nowe metody traktowania całego tego zagadnienia i podamy później ich krótki opis. Nie ulega bowiem wątpliwości, że jesteśmy tu u progu jakiegoś wielkiego objawienia. Jest to równie pewne, jak to że zjawiska kwantowe są jednym z najbardziej głębokich i tajemniczych rysów materialnego wszechświata. Spotykamy się tu z czymś, co leży głębiej niż wszystko to, czym nauka zajmowała się dotychczas. Aby zobaczyć, na czym polega owa swoistość trudności związanych z teorią kwantów, zwróćmy się do innej dziedziny zjawisk.

XVII

NAJNOWSZE TEORIE

Najbardziej zadziwiającym rysem dzisiejszej fizyki jest sprzeczność, jaka istnieje między falową teorią światła a kwantową. Jeśliby jedna z tych teorii mogła zatryumfować nad drugą, to sprzeczność zniknęłaby oczywiście. Ale właśnie najbardziej niepojętym faktem jest to, że obie te teorie są niezłębne, chociaż są wyraźnie sprzeczne i że właśnie ta sprzeczność wydaje się jakąś bardzo istotną cechą świata zjawisk fizycznych.

Teoria falowa.

Według teorii falowej, źródło światła wysyła fale we wszystkich kierunkach i fale te są w każdej chwili rozłożone na powierzchni kuli, której środkiem jest źródło światła. W miarę jak fale się rozchodzą, kula ta staje się coraz większa. Gdyby mogły się rozchodzić swobodnie w przestrzeni, to po upływie jednej sekundy od chwili opuszczenia źródła światła rozpościerałyby się na kuli o promieniu 300.000 kilometrów, gdyż tyle wynosi właśnie prędkość światła.

Otóż jest rzeczą oczywistą, że im dalej od źródła, tym fale te są słabsze, podobnie jak stają się coraz słabsze kręgi na powierzchni wody, w miarę jak się rozchodzą od miejsca, w którym w nią wpadł kamień. Fakt ten całkowicie potwierdza pewne doświadczenia optyczne. Wiemy na przykład, że każde świecące ciało staje się coraz słabiej widoczne, w miarę jak się od niego oddalamy. Energia, którą wysyła ono, rozkłada się na coraz większą powierzchnię i w ten sposób, cho-

ciaż całkowita ilość energii rozłożonej na powierzchni kuli pozostaje bez zmiany, to jednak ilość przypadająca na jednostkę powierzchni zmniejsza się ciągle. Jest dużo doświadczeń optycznych, które całkowicie potwierdzają tę teorię i których bez tej teorii istotnie nie można by zrozumieć.

Teoria kwantowa.

Zajmiemy się teraz zjawiskiem, wobec którego teoria falowa całkowicie zawodzi. Promienie X są po prostu bardzo krótkimi falami świetlnymi. Podlegają one dokładnie tym samym prawom rozchodzenia się co światło i można do nich stosować dokładnie tę samą teorię. Fakt, że są one o tyle bardziej przenikliwe niż zwykłe światło, jest wynikiem wyłącznie tego, że są one o tyle krótsze. Poza tym nie różnią się od zwykłego światła wcale. Otóż, jeśli nagle zahamujemy szybko pędzący elektron stawiając na jego drodze przeszkodę w postaci czegoś twardego, jak np. szkło czy platyna, to zahamowanie to wytwarza promienie X, rozchodzące się z punktu, w którym elektron uderzył o twardą przeszkodę.

Rozchodzą się one z tego punktu kuliście. Całkowita ilość energii, którą niosą z sobą, jest równa energii, jaką miał elektron w chwili, kiedy został zahamowany. Jego energia ruchu została przekształcona w energię promieni X. A ta energia, jak to mówiliśmy, rozłożona jest po całej powierzchni szybko powiększającej się kuli. Oczywiście ilość energii, znajdującej się na jakiegokolwiek małej części tej powierzchni kuli, musi być znacznie mniejsza, niż pierwotna energia elektronu, gdyż ta pierwotna energia rozpostarta jest po całej powierzchni. Jednak stwierdzono zdumiewający fakt: jeśli jakakolwiek część fali rozchodzącej się kulisto przypadkiem dotknie metalu, to wyrwie z tego metalu elektron o tej samej prędkości, a więc i tej samej energii, co elektron pierwotny. Jest to tzw. zjawisko fotoelektryczne.

Wydaje się to niemożliwe, a jednak o prawdziwości tego faktu nie można wątpić, gdyż był on stwierdzony w bardzo wielu starannych doświadczeniach. Zilustrujemy nadzwyczajność tego wyniku za pomocą porównania, podanego przez Sir Williama Bragga. Wyobraźmy sobie, że z wysokości 100 metrów rzucamy w morze deskę. Wytworzą się wokół tego miejsca fale, rozchodzące się kręgami. Energia ruchu deski została przekształcona w energię ruchu tych fal. W miarę jak się one rozchodzą, stają się coraz słabsze. Wyobraźmy sobie teraz, że w odległości kilku kilometrów od miejsca, w którym deska wpadła do wody, znajduje się okręt. Cóż się stanie, kiedy fale osiągną okręt? Wiemy, że nie szczególnego. Jeśli w ogóle będą jeszcze dostrzegalne, to cichutko obiją się o boki okrętu. Ale żeby uczynić to porównanie zupełnym, musielibyśmy sobie wyobrazić, że te ledwo dostrzegalne fale dosięgając okrętu wrywają z boku jego deskę i ciskają ją na 100 metrów w górę. Byłaby to dokładna analogia tego, co się zdarza w doświadczeniu z promieniami X.

Jak to wytłumaczyć? Kwantowa teoria światła odpowiada na to mówiąc, że energia świetlna wysyłana jest w postaci cząstek, które nazywa się „kwantami świetlnymi“, albo też „fotonami“. Każdy taki foton promieni X ma energię, równą całkowitej energii elektronu, przy którego zahamowaniu został wytworzony. Istnieją jednak inne doświadczenia, związane z interferencją światła, które nie dają się pogodzić z tym poglądem. Aby wytłumaczyć te inne doświadczenia, musimy trzymać się dawnej teorii, według której energia świetlna rozpostarta jest na całej powierzchni kuli. Do pewnych doświadczeń używamy jednej teorii, a do innych drugich. Ten stan rzeczy może się wydać bardzo niezadowolający. Jednak zaznaczyć trzeba, że — według wielu najwybitniejszych fizyków dzisiejszych — właśnie ta, pozornie w so-

bie sprzeczna, dwoistość jest jedną z najistotniejszych cech świata zjawisk fizycznych.

Były co prawda robione próby znalezienia kompromisu między tymi dwiema teoriami, ale bez powodzenia. Sommerfeld i Debye, na przykład, usiłowali wytłumaczyć emisję elektronów z metali pod działaniem światła zakładając, że światło dochodzi do metalu w postaci fal, jak tego wymaga zwykła teoria falowa, ale że nie wywołuje ono w nim żadnych skutków dopóty, dopóki nie upłynie dosyć czasu na to, aby mógł się nagromadzić jeden kwant energii; wtedy dopiero światło oddziałuje w sposób nagły na metal. Ale ten „czas oczekiwania“, niezbędny na to, aby nagromadziła się ta ilość energii, musiałby, jak obliczono, wynosić kilka lat. A więc według tej teorii, promienie X musiałyby padać na płytkę metalową przez całe lata, zanimby z niej wyrwały choć jeden elektron. Nie warto nawet mówić, że wynik ten jest w jaskrawej sprzeczności z doświadczeniem. Zjawisko bowiem jest w stopniu, w jakim można to stwierdzić, natychmiastowe.

Związek między dwiema teoriami.

Pewien nieznaczny postęp w kierunku znalezienia nie tyle kompromisu, co związku między dwiema teoriami, przynajmniej jeśli chodzi o atom, osiągnięty został dzięki „zasadzie korespondencji“ Bohra. Dla uproszczenia zilustrujemy to na przykładzie atomu wodoru. Każda z orbit, po których może krążyć elektron w atomie wodoru, ma swój numer. Orbita najbliższa jądra ma numer 1, następna orbita numer 2, itd.

Zasada korespondencji Bohra głosi, że dla orbit o bardzo wielkich numerach, tzn. dla orbit bardzo odległych od jądra, teoria kwantów daje wyniki bardzo zbliżone do wyników dawnej, klasycznej teorii. Według teorii klasycznej elektron zbliża się do jądra stopniowo po spirali przez cały

ten czas wypromieniowując energię. Według teorii kwantowej — wykonywa od czasu do czasu nagły skok z jednej orbity na drugą i promieniuje energię tylko podczas skoków. Ale dopóki zajmujemy się orbitami o bardzo wielkich numerach (nazywa się te numery „liczbami kwantowymi“), obie teorie dają bardzo zbliżone wyniki. Prof. Eddington ilustruje to w następujący sposób:

„Zbiegam po schodach we wtorek, a zjeżdżam po poręczu w środę; ale jeśli schody składają się z niezliczonej ilości nieskończenie niskich stopni, to nie ma istotnej różnicy w moim sposobie schodzenia podczas tych dwóch dni. Tak samo jest wszystko jedno, czy elektron zeskakuje z jednej orbity na najbliższą, niżej położoną, czy też zniża się po spirali, jeśli liczba skoków jest nieskończenie wielka. Następujące po sobie porcje energii, wyrzucane na zewnątrz, zlewają się w jeden ciągły wypływ. Gdybyśmy mieli wzór matematyczny przed sobą, to byśmy znaleźli, że częstość drgań światła i natężenia promieniowania są te same, bez względu na to, czy zostały obliczone za pomocą metody wtorkowej, czy też środowej, — ale to tylko wtedy, kiedy liczba kwantowa jest nieskończenie wielka. Niezgodność nie jest zbyt poważna, jeśli liczba kwantowa jest średnio duża; ale dla małych liczb kwantowych atom musi wybrać między środowym (klasycznym), a wtorkowym (kwantowym) sposobem. I wybiera sposób wtorkowy“.

Zasada ta nasuwa myśl, że zwykłe klasyczne prawa są jedynie skrajną postacią praw kwantowych. Prawa klasyczne są tylko przybliżeniem i dopiero teraz, kiedy wkroczyliśmy do samego wnętrza atomu, odkrywamy prawdziwe prawa świata materii. Będziemy musieli przekształcić naszą naukę tak, żeby uczynić prawa kwantowe podstawowymi, a potem wyjaśnić, jak zwykłe prawa wyłaniają się z nich stopniowo. To wydaje się rzeczą bardzo trudną, gdyż możliwe że nawet

nasze pojęcia przestrzeni i czasu będą musiały ulec zmianie, kiedy zechcemy je zastosować do wnętrza atomu.

Najnowsze teorie.

W latach ostatnich teoria atomu stała się jeszcze o wiele bardziej abstrakcyjna od teorii Bohra. Można to jej wybaczyć, gdyż w swej najnowszej postaci zdobyła ona wielkie sukcesy. Tę najnowszą teorię atomu osiągnięto dwiema zupełnie różnymi drogami, tak że początkowo wydawało się nawet, że ma się do czynienia z dwiema zupełnie różnymi teoriami. Jedną z nich zapoczątkował Heisenberg w roku 1924, drugą podał Schrödinger w roku 1926. Wkrótce jednak po sformułowaniu swej teorii Schrödinger dowiódł, że jest ona matematycznie ściśle równoważna teorii Heisenberga: w zastosowaniu do dowolnego zagadnienia fizycznego obie muszą dać te same wyniki.¹ Ale punkt wyjściowy każdej z nich był zupełnie inny, więc rozpatrzmy je pokrótce z osobna.

Teoria Schrödingera.

W teorii Schrödingera elektron nie jest cząstką, a pewnym „obszarem zakłóceń“. Ale czytelnik nie powinien sobie wyobrażać, że ten „obszar zakłóceń“ to jest pewna objętość materii albo eteru, albo jeszcze jakiejś innej substancji. „Obszar zakłóceń“ — to po prostu skrót zamiast pewnych wyrażeń matematycznych, które mówią nam w jakich granicach elektron się znajduje.

Jeśli na przykład „obszar zakłóceń“ wypełnia pewną objętość, powiedzmy dzbanek, to nie znaczy, że elektron wypełnia cały dzbanek. Znaczy to tylko tyle, że elektron znajduje się

¹ Początkowo nazywano teorię Heisenberga „mechaniką kwantową“, teorię Schrödingera — „mechaniką falową“. Obecnie, wobec równoważności obu teorii, używa się obu tych nazw na ogół jako synonimów.

wewnątrz tego dzbanka i że takie samo jest prawdopodobieństwo znalezienia elektronu w tej części dzbanka, co w jakiegokolwiek innej. Możemy nazwać „obszar zakłóceń“ Schrödingera obszarem prawdopodobieństwa. To przedstawienie rzeczy uderzy zapewne czytelnika jako bardzo abstrakcyjne. Ale rzeczywistość jest jeszcze gorsza, niż mogłoby się wydawać. Przestrzeń bowiem, w której istnieje ów „obszar zakłóceń“, to w ogóle nie jest rzeczywista przestrzeń. Jest to czysto pojęciowa, matematyczna przestrzeń.

Według teorii Schrödingera każdy elektron potrzebuje całej jednej przestrzeni trójwymiarowej dla siebie. Aby na przykład opisać zachowanie się dwóch elektronów, Schrödinger musi się uciec do sześciowymiarowej przestrzeni. Dla trzech elektronów potrzeba mu dziewięciu wymiarów i tak dalej. Jest więc rzeczą oczywistą, że to o czym Schrödinger mówi, wcale nie jest rzeczywistą przestrzenią. Teorię jego scharakteryzował Eddington, jako matematyczny „chwyt — i to bardzo dobry chwyt“. Czytelnik nie potrzebuje więc męczyć się nad wyobrażeniem sobie tego wszystkiego. Jednak fakt, że obliczenia teorii Schrödingera wyjaśniają najrozszybsze dotyczące widm trudności, z którymi teoria Bohra zupełnie nie mogła sobie dać rady, wskazuje, że teoria Schrödingera musi w pewien niedocieczony sposób odpowiadać rzeczywistości fizycznej. Co prawda ten bardzo tajemniczy i zupełnie niewyobrażalny elektron teorii Schrödingera staje się w przypadku bardzo wielkich liczb kwantowych coraz więcej podobny do dobrze znanej małej cząstki, którą jest elektron według zwykłych naszych pojęć. Proces ten został ładnie opisany przez Eddingtona:

Opis Eddingtona.

„W na pół klasycznym modelu atomu wodoru, podanym przez Bohra, mamy elektron, który krąży po kołowej lub

eliptycznej orbicie. Jest to tylko model; atom rzeczywisty nie zawiera nic w tym rodzaju. Rzeczywisty atom zawiera coś, czego człowiek nie może sobie swym umysłem wyobrazić, a co jednak zostało symbolicznie opisane przez Schrödingera. To „coś“ rozpościera się w sposób zupełnie nieporównywalny z elektronem, krążącym po orbicie. Otóż wzbudźmy atom kolejno do coraz to wyższych stanów kwantowych. W modelu Bohra elektron wskakuje na coraz to wyższe orbity. W rzeczywistym atomie owo „coś“ Schrödingera stopniowo kureczy się coraz bardziej, aż wreszcie zaczyna zarysowywać szkicowo orbitę Bohra, a nawet naśladować zgęszczenie po niej krążące. Przejdźmy do jeszcze wyższych liczb kwantowych: symbol Schrödingera przedstawia teraz zwarte ciało, poruszające się po tej samej orbicie i z tą samą prędkością, co elektron w modelu Bohra, a co więcej promieniujące według klasycznych praw elektronu. I w ten sposób, kiedy liczba kwantowa osiąga nieskończoność i atom się rozpada, wylatuje z niego prawdziwy klasyczny elektron. Elektron, w chwili kiedy opuszcza atom, krystalizuje się z mgły Schrödingera, jak diabełek wyskakujący z butelki“.

Może wielkie objawienie.

Musimy wspomnieć w związku z teorią „obszaru zakłóceń“, że istnieją dowody na to, że elektron oprócz właściwości cząstki ujawnia także właściwości fali. Tych dowodów dostarczają doświadczenia nad rozpraszaniem elektronów, przechodzących poprzez cienkie blaszki. Okazuje się, że elektrony zachowują się w pewnej mierze tak, jak gdyby były falami. Myśl, że tak być może, że cząstki materialne w ogóle, a więc i elektrony posiadają właściwości fal, wysunął jeszcze na kilka lat przed tymi doświadczeniami Louis de Broglie. Pogląd ten zresztą został potwierdzony doświadczalnie nie tylko dla elektronów, ale także i dla innych cząstek, jak np.

protony i cząstki α . A więc elektrony zachowują się tak, jak gdyby były zarówno cząstkami jak i falami. Kwant świetlny wysłany przez atom — powiedzmy przez atom jakiejś dalekiej gwiazdy — posiada również tę ciekawą kombinację właściwości. Można udowodnić rozpatrując obrazy gwiazd w teleskopie, że pojedynczy kwant musi być dostatecznie duży na to, aby móc się rozpostrzeć na całą soczewkę teleskopu. I musi być także, jak to inne doświadczenia wskazują, dostatecznie mały na to, aby wejść do atomu. Te paradoksalne fakty sprawiają, że wysuwana bywa niekiedy myśl, iż właściwie mówiąc pojęcie kwantu nie przynależy do naszych zwykłych pojęć przestrzeni i czasu. Nauka współczesna wydaje się być na skraju jakiegoś wielkiego objawienia, z którego zobaczyliśmy dotąd pierwsze bardzo niejasne przebląsy.

Teoria Heisenberga.

Inny sposób rozwiązania zagadnienia atomu zapoczątkował, jak wspomnieliśmy, Heisenberg. Punktem wyjścia było tutaj to, że atom przede wszystkim wtedy ujawnia nam swe istnienie, kiedy promieniuje „energię”. Tylko wtedy, kiedy promieniuje energię, jest częścią obserwowanego fizycznego świata. Otóż Einstein wprowadził zasadę, że wszelkie teorie naukowe powinny być formułowane wyłącznie w terminach rzeczy, które mogą być obserwowane, tzn. są wykrywalne za pomocą przyrządów fizycznych. W myśl tej zasady Einstein uważa za niewystarczające wytłumaczenie siły odśrodkowej podane przez Newtona. Newton mówi, że siły odśrodkowe wywołane przez obracające się ciało, są spowodowane przez to, że ciało obraca się względem przestrzeni absolutnej. Ale przestrzeni absolutnej, jako takiej, nigdy się wykryć nie da. Dlatego, według Einsteina, przestrzeni absolutnej nigdy nie powinno się wprowadzać do żadnej teorii naukowej.

Heisenberg stosuje tę zasadę do atomu. Teoria Bohra chce nam mówić o tym, co się dzieje w atomie nawet wtedy, kiedy nie promieniuje on energii. W takich chwilach elektrony, jak mówiliśmy, krążą równo dokoła jądra, nie wykonując żadnych przeskoków z jednej orbity na drugą. Ale atom znajdujący się w tym stanie nie może być wykryty żadnym przyrządem fizycznym. Atom ujawnia swe istnienie wyłącznie poprzez oddziaływanie wzajemne z resztą fizycznego świata, a te oddziaływania zawsze są związane ze zmianami energii. Wszystko co rzeczywiście wiemy o atomie, to są promieniowania, które on wysyła. Heisenberg opisuje więc atom nie w terminach jego przypuszczalnej budowy, a za pomocą jego promieniowań. Dla każdego atomu istnieje jak gdyby tablica wszelkich możliwych jego promieniowań i w teorii Heisenberga ta tablica zajmuje miejsce konkretnego atomu. Heisenberg i Schrödinger osiągają, jak powiedzieliśmy, te same wyniki zupełnie różnymi drogami. Nie może więc być wątpliwości, że wyniki te odpowiadają w dużym stopniu temu, co się rzeczywiście dzieje w atomie.

XVIII

FIZYKA JĄDRA ATOMOWEGO

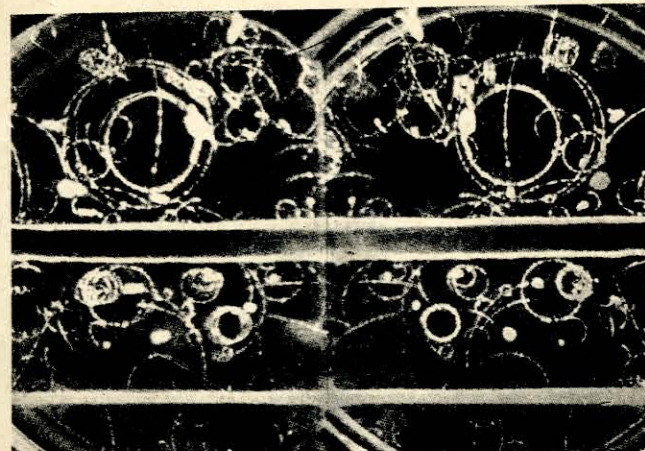
Ostatnie lata odznaczają się w fizyce wspaniałym rozwojem badań nad jądrem atomowym. Dokonano w tej dziedzinie kilku zupełnie nieoczekiwanych, zasadniczych odkryć, których doniosłość jest niezwyklej wagi. Opowiemy o tym teraz pokrótce.

Komora Wilsona.

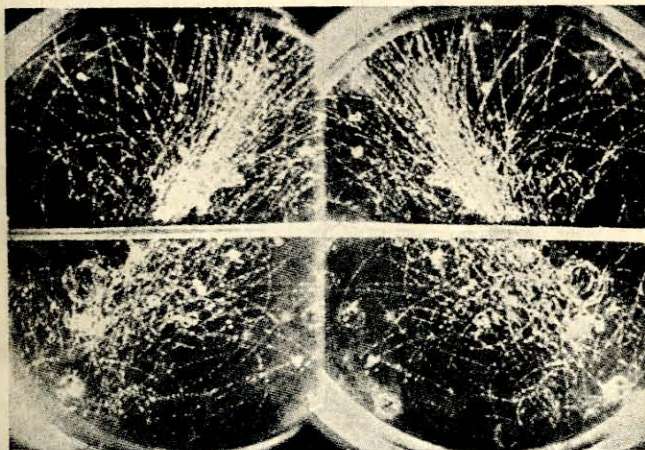
Zanim jednak do tego przystąpimy, musimy wspomnieć o pewnym przyrządzie, który w badaniach nad jądrem atomowym odgrywa olbrzymią rolę, taką mniej więcej, jaką ma spektroskop w badaniach nad pozajądrową częścią atomów i cząsteczek. Mamy tu na myśli tzw. komorę Wilsona, nazwaną w ten sposób od nazwiska wynalazcy. Ogromne znaczenie komory Wilsona pochodzi stąd, że daje nam ona możliwość widzenia i fotografowania torów pojedynczych cząstek materialnych, np. elektronów, protonów, cząstek α . Trudno jest przesadzić w podkreślaniu cudowności tego faktu: oto możemy widzieć, któredy biegł pojedynczy elektron, czy też pojedyncza cząstka α , czy wreszcie jakakolwiek inna cząstka, niosąca na-bój elektryczny!

Zasada działania komory Wilsona jest prosta. Wyzyskuje się tu dwie okoliczności. Po pierwsze to, że każda szybka cząstka naelektryzowana (np. proton) pędząc poprzez jakikolwiek gaz (np. powietrze) jonizuje atomy tego gazu znajdujące się na jej drodze, tzn. wyrывa z nich elektrony, tak

1.



2.



Zdjęci. Komory Wilsona w polu magnetycznym. Zjawiska wtórne promieniowania kosmicznego: 1. Koliste tory powolnych elektronów, 2. „deszcz” elektronów dodatnich i ujemnych.



że te atomy gazu przestają być elektrycznie obojętne. Po drugiej: jeśli w tym gazie znajduje się nasycona para wodna (albo para jakiegokolwiek innej, łatwo skraplającej się substancji) i jeśli postarać się, żeby para ta uległa częściowemu skropleniu, to kropelki utworzą się przede wszystkim wokół zjonizowanych atomów, dzięki temu właśnie, że atomy te nie są elektrycznie obojętne. W odpowiednich warunkach utworzy się więc w gazie, dokładnie wzdłuż toru jonizującej cząstki, sznureczek drobniotkich kropelek wody, który daje się sfotografować, jeśli go silnie oświetlić: na fotografii otrzymamy obraz toru cząstki w postaci jasnej linii na ciemnym tle (pozwłaszcza kropelki tylko przy dużym powiększeniu są widoczne). Komora Wilsona urzeczywistnia właśnie owe „odpowiednie warunki“.

Wiemy, że tor cząstki naelektryzowanej w polu magnetycznym ulega zakrzywieniu. Jeśli więc umieścimy komorę Wilsona między biegunami magnesu, to na fotografiach otrzymamy obrazy torów zakrzywionych, a nawet czasem kolistych. Z krzywizny toru możemy wnosić o prędkości cząstki: krzywizna toru jest tym większa, im cząstka jest powolniejsza i im pole magnetyczne jest silniejsze; z grubości toru, tzn. z gęstości rozmieszczenia kropelek w „sznureczku“, — o naboju elektrycznym cząstki; z długości toru — o energii cząstki. W ogóle zdjęcia wnętrza komory Wilsona, umieszczonej w polu magnetycznym, mogą bardzo dużo powiedzieć o cząstkach, które przez nią przechodzą.

Są jeszcze inne przyrządy bardzo ważne dla badań jądrowych, np. tzw. licznik, który za pomocą wyładowania elektrycznego daje znać o każdej cząstce, która go trafia. Ale oczywiście nie możemy w to bliżej wchodzić.

Rozbijanie jąder atomowych i przemiana pierwiastków.

Dzieje zagadnienia przemiany jednych pierwiastków

Z czego zbudowany jest świat

w drugie, tego zagadnienia, które zawsze tak silnie działało na wyobraźnię ludzi wszelkich czasów, świetnie streszcza znakomity fizyk amerykański, R. A. Millikan.¹ Oddajemy mu głos.

„Pierwsza od czasów alchemii myśl o możliwości przemiany pierwiastków pojawiła się wraz z hipotezą Prousta w roku 1815; jeśli bowiem, jak przyjmował Proust, wszelkie atomy mają ciężary będące dokładnymi wielokrotnościami ciężaru atomu wodoru, to narzuca się stąd od razu wniosek, że zostały one kiedyś zbudowane z wodoru, a to oczywiście oznacza, że mogą one w sposób idealny podlegać przemianom. Lecz przez trzy czwarte stulecia nic nie wydarzyło się więcej, co by mogło nasunąć myśl, że przemiany atomowe rzeczywiście niekiedy mają miejsce.

I dopiero w roku 1896 nastąpiło odkrycie promieniotwórczości. To właśnie odkrycie definitywnie obaliło pogląd o niezależności i niezmienności pierwiastków. Ale podczas gdy ogólnie stało się wiadome, że dzięki procesom promieniotwórczym niektóre pierwiastki przekształcają się samorzutnie w inne, to przecież aż do roku 1919 nie było żadnych określonych dowodów na to, że przemiany atomowe mogą być w jakikolwiek sposób regulowane przez człowieka. W owym roku Rutherford bombardując azot prędkimi cząstkami α definitywnie stwierdził, że to bombardowanie może w pewnych przypadkach wrywać z atomów azotu protony, czyli jądra wodoru. Również fakt, że taki proton czasem wylatywał naprzód, a czasem do tyłu, i to z energią, która pozwalała mu wykonać w komorze Wilsona drogę o długości przeszło 50 cm — czyli większą niż ta, na jaką mogłaby pozwolić energia bezpośrednio mu przekazana przez cząstkę α — do-

¹ R. A. Millikan „Electrons, protons, photons, neutrons and cosmic rays“.

wodził, że w jądrze zachodzi tu jakaś przemiana, będąca źródłem energii. Wnioskowano stąd, że cząstka α zostaje schwytała przez jądro, tak że z azotu (o ciężarze atomowym 14) tworzy się rzadki izotop tlenu (o ciężarze atomowym 17), chociaż nie miano na to wyraźnego dowodu. Lecz w każdym razie wytworzenie atomu wodoru na skutek bombardowania azotu cząstkami α było faktem niewątpliwym. Oto mieliśmy więc tutaj przemianę przez człowieka spowodowaną, chociaż co prawda, aby ją osiągnąć, trzeba było naturalnych substancji promieniotwórczych“.

Fizyka jądra atomowego.

Rozbicie jądra atomu azotu przez Rutherforda można uważać za punkt wyjściowy nowej dziedziny badań w fizyce, za początek fizyki jądra atomowego. Nie możemy tutaj opisywać jej stopniowego rozwoju od owej chwili aż do roku obecnego. Musimy pominąć milczeniem cały szereg ważnych etapów i ograniczymy się do podania krótkich informacji o tych odkryciach, które są rzeczywiście „epokowe“. A takich wielkich odkryć dokonano w ciągu tych niespełna dwudziestu lat aż kilka.

Wkrótce po rozbiciu jądra azotu udało się również rozbić za pomocą bombardowania cząstkami α szereg innych lekkich pierwiastków (np. sól, aluminium, fosfor, siarkę): w wyniku otrzymywano zawsze, podobnie jak w przypadku azotu, protony. Jednak przez długi czas nie osiągnięto w tej dziedzinie nic zasadniczo nowego. Dopiero rok 1932 odznaczył się szeregiem wielkich odkryć. W tym to roku nastąpiło odkrycie neutronu oraz odkrycie tzw. pozytronu, czyli elektronu elektrycznie dodatniego. Również w roku 1932 odkryto ciężki wodór. I wreszcie w tymże roku osiągnięto, po raz pierwszy całkowicie sztucznie, przemianę pierwiastków: „pociskami“ bombardującymi były tu już nie czą-

stki α substancji promieniotwórczych, przez naturę obdarte wielką energią, a zjonizowane atomy, którym człowiek sztucznie nadał taką energię.

Odkrycie neutronu.

Odkrycie neutronu nastąpiło przy doświadczeniach nad rozbijaniem berylu cząstkami α . Okazało się, że w wyniku bombardowania berylu cząstkami α bynajmniej nie otrzymuje się protonów, jak to było w przypadku azotu i innych lekkich pierwiastków. Otrzymuje się natomiast pewne nadzwyczaj przenikliwe promieniowanie — przechodzi ono łatwo przez kilkadziesiąt centymetrów ołowiu, — o którym początkowo przypuszczano, że jest ono rodzajem promieniowania γ o bardzo małej długości fali. Hipoteza taka nasuwała się chociażby dlatego, że owo „beryłowe promieniowanie“ nie dawało żadnych śladów na zdjęciach komory Wilsona; mówiliśmy zaś, że tory wszelkich podówczas znanych cząstek materialnych, jak elektrony, protony, cząstki α , ujawniają się na takich zdjęciach bardzo wyraźnie. Jednak po bliższym zbadaniu sprawy okazało się, że hipoteza ta prowadzi do niezwykle poważnych trudności i że trzeba ją zarzucić. Wtedy to właśnie fizyk angielski, Chadwick, wysunął myśl i poparł ją szeregiem doświadczalnych dowodów, że „promieniowanie beryłowe“ jest w istocie rzeczą strumieniem cząstek obojętnych elektrycznie (dlatego nie jonizują one atomów gazu w komorze Wilsona) i posiadających masę mniej więcej równą masie protonu, które nazwał „neutronami“.

Widzieliśmy już, jakie konsekwencje miało odkrycie neutronu dla naszych wyobrażeń o budowie jądra atomowego: trzeba było przyjąć, że jądra składają się z protonów i właśnie neutronów. Dlatego też z jądra atomowego każdego pierwiastka powinno być możliwe wyrwanie neutronu. I dla wielkiej liczby pierwiastków udało się to rzeczywiście: w przy-

padku niektórych pierwiastków lekkich — za pomocą bombardowania cząstkami α ; w innych przypadkach trzeba było na to „sztucznych pocisków“, jak np. sztucznie przyspieszone protony, czy też deuterony (tzn. jądra ciężkiego wodoru).

Natomiast dość dziwne wyda się chyba, że można z jądra atomowego wyrwać neutron, nie tylko bombardując je cząstkami materialnymi, ale także naświetlając je dostatecznie przenikliwymi promieniami γ . Użyliśmy tu słowa „naświetlić“, bo przecież promieniowanie γ jest promieniowaniem tego samego typu, co światło, lecz o bardzo małej długości fali. Rzeczywiście proces wyrwania neutronów z jąder atomowych przez promienie γ jest zupełnie analogiczny do „zjawiska fotoelektrycznego“, o którym już była kiedyś mowa, tzn. do procesu, w którym światło albo promienie X wyrwają elektrony z atomów. Jeśli sobie przypomnimy, że w przypadku zjawiska fotoelektrycznego wiązka światła zachowuje się zupełnie tak jak strumień szybko pędzących cząstek, że jest ona strumieniem „fotonów“, to wobec tej analogii rozbijanie jąder atomowych za pomocą promieni γ wyda się chyba mniej dziwne.

Odkrycie pozytronu.

Elektron dodatni, czyli pozytron, jest to cząstka, która różni się od dobrze już nam znanego, „zwykłego“ elektronu, wyłącznie znakiem naboju elektrycznego: ma ona nabój elektryczny dodatni, podczas gdy zwykły elektron ma, jak wiemy, nabój ujemny. Wielkość naboju elektrycznego jest u obydwóch tych elektronów, ujemnego i dodatniego, identyczna; to samo dotyczy ich masy.

Pozytron został odkryty w promieniowaniu kosmicznym. Posłuchajmy znowu, co o tym mówi w swej wyżej cytowanej

książce prof. Millikan, kierownik laboratorium, w którym tego dokonano:

„Przed nocą z dnia 2 na 3 sierpnia 1932 roku uznawano powszechnie, że podstawowymi cegiełkami świata materialnego są po prostu protony i elektrony ujemne. Z tych dwóch pra-substancji składają się wszystkie dziewięćdziesiąt dwa pierwiastki. Sam proton jest dodatnią jednostką naboju (czyli dodatnim elektronem), zupełnie podobną do jednostki ujemnej jeśli chodzi wyłącznie o nabój, lecz bardzo różną w swej istocie, gdyż nierozłącznie zespoloną z masą 1840 razy większą od masy ujemnego elektronu. Zakładaliśmy więc, że zachodzi istotna różnica między naturą dodatniej elektryczności, a naturą ujemnej i w ten sposób tłumaczyliśmy fakt, że nie tylko całkowity dodatni nabój atomu skupiony jest w jego jądrze, ale i całkowita jego masa również... Fotografia promieniowania kosmicznego, zrobiona w Norman Bridge Laboratory po południu, dnia 2 sierpnia 1932, przerwała nasze zadowolenie z powyższego obrazu. Carl D. Anderson zrobił zdjęcie i wywołał kliszę. Od razu pojął jego ważność i z S. Neddermeyerem spędził całą noc usiłując na próżno wynaleźć jakiś taki sposób patrzenia na nie, który mógłby uratować dawny pogląd. Nie dało się to zrobić! Zdjęcie ujawniało ponad wszelką wątpliwość tor s w o b o d n e g o d o d a t n i e g o e l e k t r o n u, mającego dokładnie te same właściwości — z wyjątkiem znaku naboju, — co swobodny ujemny elektron, a bynajmniej nie właściwości protonu. Nazwę protonu można było pozostawić, ale charakter jego uległ zmianie, gdyż proton przestał już być jedyną podstawową cząstką dodatnią“.

Materializacja i dematerializacja.

Wkrótce po odkryciu pozytronu okazało się, że występuje on nie tylko w promieniowaniu kosmicznym. Można go

też obserwować przy przejściu zwykłych promieni γ przez materię. Wiąże się to ściśle z innym nadzwyczajnym odkryciem, z odkryciem tzw. zjawiska materializacji; stwierdzono mianowicie, że foton promieni γ przekształca się niekiedy w parę elektronów: dodatni i ujemny.

Ze zjawiskiem powstawania zwykłego, ujemnego elektronu spotkaliśmy się już przy omawianiu emisji cząstek β przez substancje promieniotwórcze. Trzeba było tam przyjąć, że cząstka β , czyli elektron ujemny, powstaje w jądrze promieniotwórczym w chwili, kiedy ma on być wysłany na zewnątrz. Faktu tego jednak nie można obserwować bezpośrednio; jest on jedynie dobrze uzasadnionym wnioskiem z innych danych doświadczalnych. Tutaj jest zupełnie inaczej: możemy tu widzieć — w tym sensie, w jakim komora Wilsona pozwala nam widzieć cząstki materialne — samo elementarne, żadnymi pobocznymi efektami nie zakłócone zjawisko przekształcania się promieniowania w materię. Umieszczając bowiem komorę Wilsona w polu magnetycznym można otrzymać zdjęcia, na których zjawisko materializacji jest bezpośrednio widoczne.

Czego się możemy spodziewać na takim zdjęciu? Wiemy, że w polu magnetycznym cząstki o nabojach elektrycznych różnego znaku odchylają się od swego prostoliniowego toru w przeciwnych kierunkach; natomiast oczywiście promienie γ nie ulegają wcale odchyleniu. Wiadomo jest także, że bez względu na znak naboju elektrycznego, dwie cząstki, posiadające naboje równej wielkości i prędkości mniej więcej jednakowe, jonizują gaz jednakowo; promienie γ zaś jonizują zbyt słabo, aby zostawić po sobie świetlisty ślad w komorze Wilsona. Na podstawie tych danych możemy odpowiedzieć na postawione przed chwilą pytanie: na zdjęciu powinniśmy zobaczyć, jak oto dokładnie z jednego punktu wychodzą dwa

jednakowej grubości tory (tor elektronu ujemnego i tor dodatniego), zakrzywione w przeciwnych kierunkach i leżące mniej więcej na przedłużeniu niewidocznego zresztą toru fotonu γ . Właśnie takie zdjęcia otrzymuje się w rzeczywistości.

W jednym z poprzednich rozdziałów szczegółowo omawialiśmy równoważność masy i energii. W zjawisku materializacji to równoważność ujawnia się szczególnie dobitnie. Mierzając krzywizny torów każdego z obu elektronów można wyznaczyć ich prędkość, a stąd znaleźć energię ruchu. Ta energia ruchu plus energia równoważna masie dwóch elektronów powinna się więc równać energii fotonu γ , z którego para powstała. Pomiary w zupełności potwierdzają to przypuszczenie.

Dlaczego tak rzadko obserwujemy pozytrony? Okazuje się, że życie ich jest bardzo krótkie, trwa drobny ułamek sekundy. To zaś dlatego, że pozytron napotkawszy na swej drodze jakiegokolwiek elektronu ujemnego — a szanse takiego spotkania są duże — przekształca się wraz z nim na promieniowanie γ z powrotem: następuje „dematerializacja“, unicestwienie pary elektronów, dodatniego i ujemnego. Fakt ten został stwierdzony w sposób zupełnie niewątpliwy.

Zasady zachowania.

Zjawiska materializacji i dematerializacji wskazują najzupełniej bezpośrednio, że masa bynajmniej nie jest niezniszczalna. Może się ona przekształcać w energię promieniowania i na odwrót powstawać wprost z energii promieniowania. Zasada niezniszczalności materii, czyli innymi słowy zasada zachowania masy, musi być więc definitywnie uznana za nieprawdziwą w swym najogólniejszym sformułowaniu, na co

zresztą już mieliśmy pośrednie dowody, kiedy była rozpatrywana budowa jąder atomowych.

Natomiast zawsze jest spełniona w procesach materializacji i dematerializacji zasada zachowania elektryczności: nabój elektryczny ujemny nigdy nie powstaje (ani nie znika) bez jednoczesnego pojawienia się (lub zniknięcia) równego mu naboju elektrycznego dodatniego. Naboję elektryczne dodatni i ujemny powstają i znikają zawsze parami, i to nie tylko w procesach materializacji i dematerializacji, lecz również we wszelkich innych okolicznościach. Np. widzieliśmy, że w jądrze promieniotwórczym jednocześnie z powstaniem cząstki β neutron przemienia się w proton, czyli jednocześnie z pojawieniem się ujemnego elektronu pojawia się równy mu dodatni nabój protonu. W ogóle zasadę zachowania elektryczności można uważać za jeszcze pewniej ugruntowaną od zasady zachowania energii: nie ma od niej wyjątków. A jak widzieliśmy przy omawianiu emisji cząstek β przez substancje promieniotwórcze, trzeba tam było przyjąć dla ratowania zasady zachowania energii, że emisji cząstki β towarzyszy zawsze emisja neutrina, którego jednak nigdy dotąd nie udało się zaobserwować.

Całkowicie sztuczna przemiana pierwiastków.

Pierwszą całkowicie sztucznie dokonaną przemianą pierwiastków było rozbicie jądra litu za pomocą sztucznie przyspieszonych jonów wodorowych, czyli po prostu protonów. Jony te przyspieszano, czyli nadawano im znaczną energię ruchu stosując wysokie napięcia elektryczne, dochodzące do kilkuset tysięcy volt. Cóż się dzieje z jądrem atomu litu trafionym przez taki szybki proton? Okazuje się, że proton wpadłszy do jądra litu robi tam wielki „przewrót“, gdyż w ostatecznym wyniku rozpada się ono na dwa jądra helowe, z których każde ma energię ruchu odpowiadającą napięciu

przeszło 8 milionów wolt. Otrzymujemy więc w ten sposób z litu całkowicie sztucznie hel. Czytelnik dziwi się może trochę, że mówimy o tak wielkiej energii jak ta, którą posiadają jądra helowe powstałe z rozpadu jądra litu, bez szczególnego przejścia: nawet nie zaopatrzyliśmy wykrzyknikiem zdania, w którym jest o tym mowa. Ale to po prostu dlatego, że występowanie energii tego rzędu wielkości jest w przemianach jądrowych czymś zupełnie zwykłym. Natomiast trudno się nie przejąć, kiedy się pomyśli, że obecnie potrafimy całkowicie sztucznie przyspieszać jądra helowe do takiej, a nawet trochę większej energii. Jest to rzeczywiście olbrzymi sukces techniki laboratoryjnej, o jakim jeszcze kilkanaście lat temu trudno było nawet marzyć.

Od czasu dokonania tej całkowicie sztucznej przemiany litu w hel upłynęło sześć lat. Przez ten czas fizyka jądra atomowego rozwinęła się niesłychanie. Bez mała, że nie ma obecnie pierwiastka, którego by nie można przemienić w jakiś inny pierwiastek za pomocą bombardowania takimi czy innymi „pociskami”. Pociski te bywają rozmaite: sztucznie przyspieszane protony, deuterony, cząstki α . Czasem produkt rozpadu w jednej przemianie służy za „pocisk” dla spowodowania innej: np. neutrony są na wielką skalę używane jako pociski.

Sztuczna promieniotwórczość.

Zanim powiemy o tzw. sztucznej promieniotwórczości, musimy jeszcze w jednym ważnym punkcie uzupełnić wiadomości czytelnika o promieniotwórczości naturalnej, którą zajmowaliśmy się w poprzednich rozdziałach. Otóż nie został wtedy dostatecznie wyraźnie podkreślony fakt, że rozpad danej substancji promieniotwórczej nie jest natychmiastowy, lecz zawsze potrzeba na to czasu. Jest to zresztą oczywiste, bo gdyby było inaczej, to wszystkie substancje promienio-

twórcze dawno by już przebiegły cały łańcuch kolejnych przemian, który, jak widzieliśmy, kończy się na ołowiu, i w ogóle nie znalazłbyśmy czegoś takiego, jak promieniotwórczość. Rozpad substancji promieniotwórczej musi więc trwać niektóre jej atomy rozpadają się od razu, inne — nieco później, tak że np. trzeba aż półtora tysiąca lat, żeby z pewnej określonej ilości atomów radu połowa wysłała z siebie cząstki α i w ten sposób przemieniła się w pierwiastek, będący produktem rozpadu radu, czyli w tzw. emanację radową.

W przeciwieństwie do promieniotwórczości naturalnej wszystkie przemiany jądrowe sztuczne, o których była dotąd mowa, są natychmiastowe. Np. jądro litu, trafione przez szybki proton, rozpada się w tej samej chwili na dwa jądra helowe: czas trwania tego procesu jest niemierzalnie krótki, chociaż w przypadku naturalnej promieniotwórczości umiano stwierdzić czasy „połowicznego” rozpadu, wynoszące tylko stutysięczną część sekundy.

Otóż w roku 1934 Irena Curie i F. Joliot odkryli, że i sztucznie można otrzymać pierwiastki, których przemiana w inne nie jest natychmiastowa, ale trwa. Mamy więc tu do czynienia ze sztuczną promieniotwórczością. W pierwszych doświadczeniach odkrywców sztucznej promieniotwórczości pociskami były po prostu „staroświeckie” cząstki α ze zwykłych substancji promieniotwórczych. Bombardowano cząstkami α rozmaite lekkie pierwiastki. Zobaczmy na przykładzie powiedzmy fluoru, co wtedy zachodzi. Jądro fluoru, do którego wpadła cząstka α , przemienia się momentalnie w jądro sodu, wysyłając jednocześnie neutron. Dotąd więc nic nowego. Okazuje się jednak, że tak otrzymane jądro sodu bynajmniej nie jest trwałe, lecz ulega przemianie w jądro neonu wysyłając jednocześnie pozytron. I właśnie ta przemiana sodu w neon trwa i to nawet długo,

bo trzeba przeszło pół roku, aby połowa atomów sodu przemieniła się w neon. Innymi słowy emisję pozytronów obserwuje się jeszcze całe miesiące po zaprzestaniu bombardowania fluoru cząstkami α .

Mówiliśmy, że emisji cząstki β , czyli elektronu ujemnego z jądra substancji promieniotwórczej towarzyszy jednocześnie przemiana któregoś z neutronów zawartych w tym jądrze w proton. W przypadku sztucznego pierwiastka promieniotwórczego, wysyłającego pozytrony, jest na odwrót: emisji pozytronu z jądra towarzyszy jednocześnie przemiana któregoś z protonów zawartych w tym jądrze w neutron. Obydwa te procesy jądrowe — emisja elektronu bądź ujemnego, bądź dodatniego — zadośćczynią więc zasadzie zachowania elektryczności: całkowity nabój elektryczny produktów przemiany pozostaje niezmienny.

Obecnie znamy całe mnóstwo sztucznych pierwiastków promieniotwórczych: wysyłają one bądź elektrony dodatnie, bądź też ujemne. Otrzymuje się te pierwiastki w bardzo rozmaity sposób, nie tylko zaś przez bombardowanie cząstkami α . Bardzo skutecznymi pociskami są tu neutrony, a także sztucznie przyspieszane protony i deuterony.

Pierwiastki pozauranowe.

W związku z przemianą sztuczną pierwiastków zwróćmy jeszcze uwagę na pewne ważne zagadnienie. Wiemy, że istnieje 92 różne pierwiastki. Ostatnie miejsce w tablicy pierwiastków, czyli największą liczbę atomową — właśnie 92 — ma uran. Powstaje więc pytanie, czyby sztucznie nie można było wytworzyć pierwiastków o liczbie atomowej większej, niż 92, czyli pierwiastków pozauranowych. I rzeczywiście — oto jeszcze jeden tryumf fizyki jądrowej — okazało się to możliwe. Uran w zwykłych warunkach jest naturalnym pierwiastkiem promieniotwórczym, wysyłającym cząstki α .

Uran bombardowany przez neutrony może się przemieniać w sztuczne promieniotwórcze pierwiastki, których produkty rozpadu mają — jak stwierdzono z całą pewnością — liczby atomowe większe niż 92, dochodzące aż do 96. Istnienie sztucznie wytworzonych pierwiastków pozauranowych nie ulega więc wątpliwości.

Cząstki elementarne.

Na zakończenie tego bardzo krótkiego przeglądu najnowszych odkryć fizyki, zrobimy jeszcze zestawienie wszystkich obecnie znanych „elementarnych“ cząstek materii:

Elektron ujemny, od czasu odkrycia elektronu dodatniego, czyli pozytronu, nazywany niekiedy *negatronem*. Masa jego wynosi niesłychanie drobną część grama, a mianowicie 0,0000000000000000000000009 grama (27 zer po przecinku!). Nabój elektryczny elektronu jest najmniejszym istniejącym nabojem elektrycznym (dlatego mówimy, że elektron ujemny jest „atomem“ elektryczności ujemnej). Małość tego naboju elementarnego w porównaniu z nabojami, z którymi mamy do czynienia w praktycznych zastosowaniach elektryczności, wyraża się liczbą równie niewyobrażalną jak liczba przed chwilą podana.

Elektron dodatni, czyli *pozytron*. Masa jego jest równa masie elektronu ujemnego. Nabój elektryczny pozytronu jest co do wielkości równy naboju negatronu, ale posiada przeciwny „znak“. Pozitron jest więc „atomem“ elektryczności dodatniej.

Proton, czyli jądro atomu wodoru „zwykłego“ (w przeciwstawieniu do jądra ciężkiego wodoru, czyli deuteronu, który już nie jest cząstką elementarną, a składa się z jednego protonu i jednego neutronu). Masa jego jest 1840 razy większa od masy elektronu. Nabój elektryczny protonu jest co do wielkości i znaku równy naboju pozytronu.

Neutron. Masa jego jest nieco większa od masy protonu: jeśli masę protonu wyrazimy liczbą 1.0076, to masa neutronu wyniesie 1.0090 (masa atomu tlenu w tych jednostkach jest dokładnie 16). Neutron nie posiada naboju elektrycznego, jest elektrycznie obojętny.

Neutrino. Jest to cząstka, za której istnieniem przemawiają jedynie argumenty pośrednie. Bezpośrednio nie obserwowano jej dotychczas nigdy. W każdym razie musi być ona elektrycznie obojętna i posiadać masę znacznie mniejszą od masy elektronu.

Oto wszystkie obecnie znane elementarne cząstki materii. Dodamy tu jednak, że najnowsze (z ostatnich dwóch lat) badania różnych zjawisk wtórnych, towarzyszących przenikaniu promieniowania kosmicznego przez materię, zdają się wskazywać na istnienie jeszcze innych cząstek elementarnych. Byłyby to tzw. ciężkie elektrony, ujemne i dodatnie, czyli cząstki o naboju elektrycznym bądź negatronu, bądź pozitronu, lecz o masie kilkaset razy większej od masy elektronu.

XIX

ZAKOŃCZENIE

Widzieliśmy, że istota materii staje się coraz bardziej nieuchwytna w miarę jak posuwamy się naprzód w naszych badaniach. W początkach teorii atomistycznej wszystko wydawało się wcale jasne. Atom był uważany za bardzo drobną, twardą cząstkę. Dla wygody w obliczeniach zakładano, że jest małą kuleczką, bardzo sprężystą, tak że jeśli dwa atomy się zderzyły, to zaraz odskoczyłyby znowu od siebie. Na tym polegała właśnie słynna hipoteza, że materia jest zrobiona z takich „małych kulek bilardowych“. Od tego czasu nasz obraz atomu zmienił się nie do poznania. Już na początku bieżącego stulecia mała kulka bilardowa przekształciła się w „miniaturowy układ słoneczny“, w którym planetami były elektrony. I dokonywając tej zmiany, musieliśmy zacząć stosować prawa przyrody zupełnie nowego rodzaju. Ale i to nie wystarczyło. Nasz obraz elektronów w atomie, będących małymi cząstkami, które krążą dokoła jądra i przeskakują z jednej orbity na drugą, nie tłumaczy pewnych obserwowanych zjawisk widmowych. Aby wytłumaczyć te zjawiska musimy nasz obraz atomu uczynić jeszcze bardziej abstrakcyjnym, aż wreszcie atom staje się obszarem, gdzie „jakaś niewiadoma rzecz robi nie wiadomo co“, jak się wyraził prof. Eddington.

Rzeczywiście jeśli chodzi o istotę wszelkiej materii, to nigdy nie wiemy, o czym właściwie mówimy. Jak się rzeczy zachowują — oto wszystko, co wiemy; ale w najmniejszym

stopniu nie wiemy, co się zachowuje. Wiemy, jak przedmioty reagują na nasze przyrządy pomiarowe, lecz nie mówi to nam nic o istocie tego, co reaguje. J. W. N. Sullivan w swej książce „Podstawy nowoczesnej nauki“ wyklada tę rzecz, jak następuje:

„Surowcem nauki są nasze wrażenia. Każdemu wrażeniu przypisujemy pewną fizyczną przyczynę. Różne wrażenia, np. czerwien i niebieskość, odpowiadają różnym przyczynom fizycznym. Lecz jedynymi badanymi przez naukę właściwościami tych przyczyn są właściwości strukturalne. O wewnętrznej istocie tych przyczyn nauka nie mówi nam nic. Nauka w swej analizie przyczyn czerwieni i niebieskości (fale w eterze) nie wspomina o niczym, co by było podobne do różnicy w jakości między czerwienią i niebieskością. Mówi wyłącznie o różnicach w strukturze, jak np. stwierdzając, że pewna długość fali jest dłuższa od innej.

Lecz ze znajomości struktury nie możemy nic wnosić o istocie substancji, która tę strukturę posiada“.

Ale można na to zagadnienie spojrzeć z nieco innej strony. Można się zastanawiać nad tym, czy w ogóle ma sens samo sformułowanie zapytania o „istotę materii“. Przytoczymy rozważania na ten temat, wyjęte z odczytu znakomitego fizyka holenderskiego, H. A. Kramersa:¹

„Czym jest materia? Jest to jedno z tych głębokich i trudnych pytań, które filozofia przyrody z biegiem stuleci stawała wciąż na nowo: i było z tym tak, że im więcej zebrało się materiału do odpowiedzi, tym dalej zdawała się umykać nam możliwość zadowalającego rozwiązania. Tak, wszystko przemawia za tym, że jesteśmy obecnie już o tyle zaawansowani, że z całą powagą możemy zacząć powątpiewać, czy to pyta-

¹ H. A. Kramers „Wat is materie?“

nie ma w ogóle jakiś sens; to znaczy, zaczynamy przypuszczać, że ścisła odpowiedź na nie w ogóle nie istnieje.

Zdarza się to przecież często. Ścieżka nauki usiana jest trupami pytań, które zostały usunięte na bok. Nawet pytania, które w chwili kiedy zostały postawione, świadczyły o wielkiej mądrości i przenikliwości, są według dzisiejszych zapatrywań nie do rozstrzygnięcia.

Stawianie pytań bowiem, ten najdroższy ze wszystkich darów ludzkiego umysłu, jest krańcowo paradoksalną czynnością: stawiając pytanie zakłada się, że się coś wie o czymś, czego się nie zna. Z tym wiąże się, że pytanie może umrzeć, i to nie tylko dlatego, że odpowiadano na nie — na szczęście i to zdarza się często — ale także dlatego, że rozum ludzki już nie może go uznać.

Kto zapytuje, czym jest materia, czym — elektryczność, czym — energia, ten stwierdza tym samym, że przy roztrząsaniu zjawisk umie wprowadzić pewne pojęcia, które się określa tymi nazwami. Pojęcie naukowe jednak nie bywa zazwyczaj ostro zarysowane i tylko w ograniczonym zakresie można powiedzieć ściśle, co się przez nie rozumie, a swą wartość zawdzięcza ono tej okoliczności, że stawia przed nami pewien program badań. Usiłuje się je sprecyzować, pogłębić, i często się zdarza, że prowadzi to do stworzenia nowych, płodnych pojęć, starych zaś używa się wtedy już wyłącznie pomocniczo, do celów praktycznych lub pedagogicznych. W ten sposób dochodzi do tego, że laik, który z powątpiewaniem w głosie zapewnia — ach, „oni“ wciąż jeszcze nie wiedzą czym jest materia, czym elektryczność, czym energia — zupełnie fałszywe ma pojęcie, czym właściwie jest nauka i na czym właściwie polega obecnie ta względna słabość, jaka z wszelką ludzką nauką jest związana. W gruncie rzeczy pytaniem było zawsze: co właściwie powinniśmy przez materię rozumieć...?“

A oto zakończenie odczytu prof. Kramersa, które niech również będzie zakończeniem naszej książki:

„Rozumieją teraz państwo chyba, dlaczego... powątpiewałem, czy w ogóle istnieje ścisła odpowiedź na pytanie: czym jest materia? Słowo materia może być wciąż jeszcze używane w sensie fachowym, lecz postęp naszej nauki uczynił niezbędnym wprowadzenie przy tym użyciu najrozmaitszych ograniczeń i zastrzeżeń. Częstki materialne — owszem, można o nich mówić, ale mogą one znikać i pojawiać się, i nie jest już rzeczą możliwą podać ścisłą miarę ilości materii. Aby to bliżej wyjaśnić, niech mi wolno będzie zrobić jeszcze jedną, ostatnią uwagę.

Fizyka teoretyczna jest dumna, że posiada już teorię, która jest w stanie opisywać z wcale dużą dokładnością zachowanie się negatronów i pozitronów, z procesami materializacji i dematerializacji włącznie. Co więcej, miała ona tę teorię już na dwa lata przed odkryciem pozitronu, była to tzw. „teoria dziur“ Diraca; według niej musiały zwykłe ujemne elektrony automatycznie posiadać jakby pendant w pewnych dodatnich cząstkach. Dirac miał początkowo nadzieję, że będą to protony, ale Pauli udowodnił, że jeżeli ta cała teoria jest słuszna, to cząstki dodatnie muszą posiadać tę samą masę, co ujemne. Podówczas było to powodem, aby się na teorię sceptycznie zapatrywać, i mogą sobie państwo wyobrazić, jak się ucieszono, kiedy Anderson odkrył pozitrony. Otóż jeśli się przyjmie tę teorię i sformuje ją w najnowocześniejszy sposób, to dochodzi się do ciekawego wniosku, że właściwie tylko wtedy jest sens mówić o negatronach i pozitronach, kiedy są one zupełnie swobodne, czyli kiedy się znajdują z dala od zakresu działania siły jądra atomowego. Kiedy się ma np. do czynienia z taką sytuacją, jak w obojętnym elektrycznie atomie wodoru, to zwykło się dawniej mówić z czystym sumieniem, że się tam znajduje jeden

jedyny ujemny elektron w pobliżu jądra. Ale według nowej teorii wysłowienie to można uznać za prawdziwe tylko w przybliżeniu; ściśle sformułowanie mówi, że ilość elektronów w atomie wodoru jest może jeden; a może też trzy, mianowicie dwa negatrony i jeden pozitron; a może pięć, mianowicie trzy negatrony i dwa pozitrony; i tak dalej. A tego nie należy rozumieć w ten sposób, że się jeszcze nie wie, który z tych przypadków jest urzeczywistniony, ale w ten sposób, że każda z tych możliwości ma swoje prawdopodobieństwo, które daje się obliczyć. Muszą mi państwo przyznać, że wobec takiej sytuacji na próżno by się oczekiwało kiedykolwiek ścisłej odpowiedzi na pozornie tak ściśle sformułowane pytanie: czym jest materia?“

306 311





Czyt. Naukowe VI
Nr. 2908

TREŚĆ

	Str.
Przedmowa tłumacza	5
Wstęp	6
I. Dawne wyobrażenia o atomach	7
II. Atomowy świat cudów	11
III. Odkrycie promieni X i radu	16
IV. Odkrycie elektronu oraz przewrót, jakiego dokonało ono w naszych poglądach	22
V. Teoria elektronowa czyli nowe poglądy na materię	27
VI. Inne nowe poglądy	32
VII. Czym jest elektryczność?	35
VIII. Eter i fale	40
IX. Jeszcze o falach świetlnych	51
X. Energia	54
XI. Materia, eter i Einstein	61
XII. Budowa atomów	63
XIII. O promieniotwórczości nieco szczegółowiej	76
XIV. Promieniowanie słońca i gwiazd	85
XV. Teoria kwantów	89
XVI. Do czego służy spektroskop	95
XVII. Najnowsze teorie	102
XVIII. Fizyka jądra atomowego	112
XIX. Zakończenie	127



wypożyczalnie

Nr. 17

Nr. inw. W. 29113

22