

1.307.554.

**BIBLIOTEKA
WIEDZY**

DR. TADEUSZ FELSZTYN

ENERGIA ATOMOWA

INSTYTUT

RZYM

LITERACKI

1947





ENERGIA
ATOMOWA

DR FELSZTYN TADEUSZ

ENERGIA ATOMOWA

ŹRÓDŁA I ZASTOSOWANIA



INSTYTUT LITERACKI
RZYM

1947

Biblioteka Narodowa
Warszawa



30001018603789



ESZ, ARCHIWALNY

II.307.554.

SŁOWO WSTĘPNE

Zimą 1945-46 roku nadało radio paryskie słuchowisko, opisujące, jak to gdzieś w Ameryce w czasie doświadczeń nad rozbijaniem atomów, przebieg zjawisk wymknął się uczonym z ręki. Rozpoczęty proces rozszerzał się samorzutnie dalej, rósł z siłą lawiny, przekroczył granice Ameryki, przetoczył się przez Ocean Atlantycki i już, już dosięga brzegów Francji. Fala zniszczenia rośnie, zagłada zbliża się.

Słuchowisko to było tak sugestywne, że wielu słuchaczy — zapomniawszy, że to tylko słuchowisko — uwierzyło w prawdziwość opowiadania. Panika ogarnęła wsie i miasta. Do jakiejś kawiarni, gdzie ludzie spokojnie popijali popołudniowy „aperitif” i grali w belotkę, wpadła przerażona kobieta, wołając „jesteśmy zgubieni, oto atomy przychodzą”. Dla biednej kobiety „atomy” było to coś w rodzaju legendarnych wilkołaków, niosących człowiekowi zagładę. Nigdy zapewne nie słyszała, że wszystko, co jest na świecie — nie wyłączając jej własnego ciała — składa się z atomów.

Uderzmy się w piersi — iluz z nas naprawdę wiele więcej wie o energii atomowej od tej kobiety? A przecież dziś, gdy wybuch bomby nad Hiroszimą objawił ludzkości początek nowej ery, nowego etapu w walce o panowanie nad siłami przyrody, znajomość podstawowych faktów z tego zakresu obowiązuje każdego człowieka, który chce się orientować w zjawiskach otaczającego go świata.

Celem więc niniejszej książeczki jest podać zasadnicze wiadomości o świecie atomowym w formie możliwie najbardziej przystępnej.

Jest to niewątpliwie zadanie dość trudne. Skoro bowiem

przechodzimy ze zjawisk świata dostępnego naszym zmysłom, t. zw. świata „makrofizycznego” („makros” — po grecku „wielki”) do wnętrza atomu, do świata „mikrofizycznego” („mikros” — po grecku „mały”), znajdujemy się w jakimś czarownym lesie, gdzie wszystko wygląda inaczej, niż tego nas nauczyły nasze zmysły. Co więcej, najbujniejsza nawet fantazja nie jest w stanie oddać nam zachodzącej tam rzeczywistości. Jak bowiem uczy nowoczesna fizyka, zjawiska mikrofizyczne są niewyobrażalne, gdyż natura działa w sposób, który nie da się przedstawić w postaci zrozumiałej dla umysłu ludzkiego przy pomocy obrazów lub modeli; w jakiejś dziwnej przestrzeni o olbrzymiej ilości wymiarów (nasz świat — jak wiadomo — ma ich tylko trzy), poza czasem i przestrzenią, tak przecież nieodłącznie związanymi z naszym umysłem.

Ścisłe ująć to, co dzieje się we wnętrzu atomu, można jedynie przy pomocy matematyki i to metodami tak zawiłymi, że są one niezrozumiałe nawet dla wielu matematyków, a cóż dopiero dla laika, u którego już na sam widok wzorów matematycznych mąci się w głowie.

Jeżeli więc chcemy mówić o zjawiskach świata atomowego w sposób zrozumiały dla nefachowca, to musimy z góry zrezygnować z wszelkiej ścisłości i zadowolić się obrazami, z grubsza nas tylko przybliżającymi do istoty rzeczy, przedstawiającymi zawsze część, nigdy całość rzeczywistości. Coś jak gdybyśmy chcieli oddać piękno pełnej orkiestry symfonicznej przy pomocy... harmonijki ustnej.

Niemniej jednak, te przybliżone obrazy, jeżeli nawet nie dają możliwości poznania samej głębi zjawisk atomowych, to w każdym razie pozwalają przynajmniej na zdanie sobie sprawy z najważniejszych cech ich przebiegu, z ich powiązań między sobą, a tym samym umożliwiają zrozumienie ich zastosowań praktycznych.

I.

KU NOWYM ŹRÓDŁOM ENERGII

Czytaliśmy prawdopodobnie wszyscy opowieści Jacka Londona o wyścigu ku nowoodkrytym złożom złota, o legendarnej Klondike, o gorączce złota, opanowującej rzesze ludzkie, niszczącej spokojne ich szczęście; widzieliśmy nie jeden film na ten temat.

Czyż jednak ludzie ci, gorączką złota opętani, poszukiwali istotnie złota, choć z taką poządlivością palili się doń ich oczy?

Przeczy temu stara grecka legenda o chciwym królu frygijskim Midasie, któremu litościwy bożek dał dar przedziwny, że wszystko, czego dotknął, przemieniało się w złoto. I oto złotem stały się chleb i mięsiwo, które chciał spożyć, wino którym pragnął ugasić pragnienie, dziecko nawet, które serdecznie uściskał. I byłby biedny król umarł, gdyby dobry bożek nie był odwołał złowróźebnego daru.

Znana jest również opowieść o wędrowcu, co to zmarł z pragnienia na pustyni, przy pełnym worku bezużytecznego dlań złota.

Nie więc złoto samo jest celem tych namiętnych poszukiwań, lecz to, co za złoto to nabyć można, a więc dobra wszelkiego rodzaju i usługi.

A że zaś „w pocie czoła pożywać będziesz twój chleb codzienny”, to też wszystkie te dobra i usługi uzyskać może człowiek jedynie przy pomocy pracy, wszystko jedno, czy pracy własnej, czy też ujarzmionych przez siebie sił przyrody.

Istotnym bogactwem jest więc nie złoto, pieniądz, ale

najmniej 400000 stopni. Ażeby sobie uzmysłwić, co znaczy taka temperatura, przypomnijmy, że stal topi się między 1300 a 1400°, a temperatura palącego się gazu nie przekracza 2500° (*), wybuch nitrogliceryny daje około 3000°, powierzchnia słońca wreszcie ma temperaturę średnio 6000°. Wnętrze gwiazd jest natomiast znacznie gorętsze. I tak słońce, które bynajmniej nie osiąga jeszcze możliwego maksimum, ma w swym wnętrzu temperaturę 20 milionów stopni, wybuch wreszcie bomby atomowej wytwarza w samej jej masie temperaturę aż 10 miliardów stopni.

Ażeby jeszcze lepiej zrozumieć, czym jest taka temperatura, przypomnijmy sobie, że cząsteczki gazu nie znajdują się nigdy w stanie spoczynku, lecz że zawsze wykonują bardzo szybkie, bezładne ruchy. Ich to właśnie uderzenia w ściany naczynia lub w dno tłoka są ciśnieniem, które wywiera gaz, zamknięty w jakimś naczyniu, na jego ściany, a więc np. źródłem pracy tłoka w maszynie parowej, czy w silniku samochodu.

Szybkości ruchu cząsteczek gazu są dość znaczne, przy czym rosną szybko w miarę wzrostu temperatury (**). I tak np. cząsteczka tlenu ma przy temperaturze 0° szybkość średnią 425 m/sek (jak pocisk nowoczesnej haubicy), przy temperaturze 1550° około 1100 m/sek, a przy temperaturze 400000° szybkość jej wynosiłaby już 615000 m/sek.

Jak już wspomnieliśmy, przyroda — na ziemi przy najmniej (bo we wnętrzu gwiazd sprawa przedstawia się inaczej) — nie wytwarza sił tak wielkich, by rozbić atom.

Dopiero człowiek nauczył się w laboratoriach swoich wytwarzać siły znacznie potężniejsze (***), niż siły przyro-

*) Teoretycznie. W praktyce gaz świetlny ma temperaturę płomienia około 1550°.

**) Szybkość ruchu cząsteczek jest proporcjonalna do pierwiastka kwadratowego z temperatury bezwzględnej gazu.

***) W niezmiernie małych co prawda ilościach. Jeżeli sobie przypomnimy, że energia to siła razy droga, to zrozumiemy, że tę samą energię posiada 1 kg wody, spadającej z wysokości 1000 m, co 1000 kg wody spadającej z wysokości 1 m, prąd o napięciu 1000 V i natężeniu 1 ampera (w czasie jednej np. minuty), co w tym samym czasie prąd o napięciu miliona volt, a natężeniu 1/1000 ampera, lub wreszcie ciało o ciężarze 10 kg lecące z szybkością 1 m/sek, co ciało o ciężarze 1 g, a szybkości 100 m/sek.



dy, siły przewyższające nawet to, co dzieje się we wnętrzu gwiazd i dzięki temu mógł zedrzyć zasłonę z tajemnic, jakie dotąd przyroda zazdrośnie przed nami ukrywała.

Ale wróćmy do atomu.

Jest to cząsteczka niesłychanie mała. Średnice atomów wszystkich znanych nam pierwiastków mieszczą się w granicach okrągło od 1 do 5 dziesięciomilionowych części milimetra. By uprzytomić sobie, co znaczy ta liczba, pomyślmy tylko, że gdybyśmy chcieli atom przy pomocy jakiegoś nadmikroskopu (który zresztą — nawiasem mówiąc — jeszcze nie istnieje) powiększyć tak, że średnica jego obrazu wzrosłaby do 1 - 5 milimetrów, to wtedy koło o średnicy 1 mm miałoby średnicę 10 kilometrów, a więc tyleż, co dwie godziny dobrego marszu pieszego, mikroby doszłyby do 10 m długości, a koło rowerowe osiągnęłoby wielkość kuli ziemskiej! W grubości włosa człowieka możemy pomieścić pół miliona atomów!

Atom jest niesłychanie lekki. Gdybyśmy chcieli wyrazić ilość atomów, zawartych w jednym gramie uranu, to musielibyśmy napisać liczbę 25 a po niej aż 20 zer:

25 00000 00000 00000 00000

Aby zrozumieć, co ta szalona ilość znaczy, spróbujmy położyć atomy tego grama uranu w rózaniec obok siebie, kładąc jeden atom co 1 mm. Otrzymalibyśmy wtedy taśmę takiej długości, że pokryłaby ona 8 1/2 miliona razy drogę od ziemi do słońca tam i spowrotem.

Jeden atom wodoru waży 1,67 kwadrylionowych (milionowych milionowych milionowych milionowych) części grama. Gdyby więc układać atomy wodoru w kostkę tak, że w klatce o boku 1 mm umieściłby się jeden atom, to olbrzymi taki sześcián, o boku podstawy 100 km (jak od Warszawy do Radomia) i o wysokości 100 km (a więc 11 razy większej od najwyższej góry na ziemi, Mont Everest'u) ważyłby zaledwo 1,67 grama!

A mimo to nie jest to jeszcze najmniejsza część materii!

Co to jest światło?

Pozwólmy sobie na małą dygresję. Skoro bowiem mówimy o budowie atomu, to musimy — chcemy, czy nie chcemy

— potracić o wszystkie nieomal dziedziny fizyki i chemii.

Pytanie, co to jest światło, zaprzętało umysły fizyków od czasów *Newtona*. Wielki ten uczony wyobrażał sobie, że są to drobnieutękie, pozbawione masy (a więc niematerialne, nieważkie) cząsteczki, które ciało świecące (t.zw. źródło światła) wyrzuca na wszystkie strony. Teoria ta utrzymywała się dość długo i doskonale tłumaczyła wiele właściwości światła.

Po pewnym jednak czasie fizycy musieli ją zarzucić; wykryto bowiem zjawisko t.zw. „interferencji światła”, które ani rusz nie daje się pogodzić z cząsteczkową jego naturą.

Jeżeli na drodze promieni świetlnych (wysyłanych przez jedno źródło) postawimy przesłonę (*rys. 1*) z dwoma drobnymi, a dość bliskimi sobie otworami, to na ekranie, umieszczonym za przesłoną, ujrzymy zamiast dwu plam świetlnych (jak to by było, gdyby światło miało naturę cząsteczkową), szereg kolejnych plam jasnych i ciemnych. W jednych miejscach ekranu światła więc, dochodząc doń z obu otworów przesłony, dodają się do siebie, w innych wygaszają się wzajemnie.

Równie niewytłumaczalne z punktu widzenia teorii cząsteczkowej było uginanie się światła dokoła bardzo drobnych przeszkód (*dyfrakcja*), dzięki czemu, gdy wiązka światła przechodzi przez wąski otwór, otrzymujemy na ekranie, po drugiej stronie przesłony, jako obraz tego otworu nie ostrą plamę świetlną, ale szereg współśrodkowych pierścieni jasnych i ciemnych, jak na *rys. 2*.

Ażeby wyjaśnić te wszystkie zjawiska, *Huygens* zarzucił teorię cząsteczkową i przyjął, że światło jest falą, rozchodzącą się kulisto w przestrzeń.

Gdy pod koniec zeszłego stulecia *Maxwell* wykazał, że fale świetlne mają charakter elektromagnetyczny, a *Hertz* wykrył promieniowanie elektromagnetyczne (znane dziś nam wszystkim fale radiowe), identyczne, jak się okazało, w swej naturze z falami świetlnymi, tylko znacznie od nich dłuższe, falista teoria światła — zdawało się — uzyskała niewzruszalne podstawy.

W miarę lat fizycy wykryli fale pośrednie między falami radiowymi, a świetlnymi (fale ultrakrótkie i fale podczerwie-

ni), dalej krótsze jeszcze od świetlnych, a więc nadfioletowe, Röntgena, tzw. „gamma”, a ostatnio i kosmiczne (*), tak że zdawało się, iż wykryliśmy ciągle pasmo wszelakich promieniowań o identycznym charakterze fal elektromagnetycznych, różniących się pomiędzy sobą tylko długością fali.

Zróbmy krótki przegląd dziś nam znanych fal, przy czym podawać je będziemy tak, jak to dziś stosuje radiotechnika i fizyka, w sposób dwójaki: zarówno w długości fali t.j. w odległości, jaka dzieli dwa najbliższe wierzchołki fali od siebie, jak też w jej częstotliwości t.j. w ilości drgań na sekundę (**). Każda z tych miar ma swoje zalety i w trakcie naszych dalszych rozważań będziemy musieli, zależnie od potrzeby, posługiwać się bądź jedną, bądź też drugą.

Najdłuższe ze znanych nam dzisiaj fal, zwykłe fale radiowe, zawierają się w granicach długości 30000 m do 10 m (t.zn. częstotliwości 10 kilocykli do 30 megacykli) (***).

Fale ultrakrótkie mają zwykle długość od 10 m do 1 cm (30 do 30000 megacykli), choć znane są i fale radiowe długości 3 mm (100000 megacykli), a kilkanaście lat temu udało się nawet fizykom wytworzyć fale radiowe, długości 80 mikronów (****) (3,75 milionów megacykli), a więc zachodzące już za promienie podczerwone.

Promienie widoczne (świetlne) mają długość od 0,65 (czerwień), do 0,39 (fiolet) mikrona (460 do 760 milionów megacykli). Po obu ich stronach mamy: fale dłuże, podczerwień, od 0,65 do jakichś 300 mikronów (od 460 do 1 milionów megacykli) i krótsze, promienie nadfioletowe od

*) Co do charakteru tych ostatnich panują wśród fizyków duże różnice zdań.

**) Między długością fali l , a jej częstotliwością n zachodzi związek
$$n l = c,$$
 gdzie c jest szybkością światła (300000 km/sek). Jeżeli więc fala ma długość 3000 m, to $n = \frac{300\ 000\ 000}{3000} = 100\ 000 = 100$ kilocykli.

Uwaga: Ze względów typograficznych stosujemy litery łacińskie l i n , zamiast potocznie przyjętych greckich « lambda » i « nü ».

***) Kilocykl — 1000 drgań na sekundę, megacykl — milion drgań na sekundę.

****) Mikron jest tysięczną częścią milimetra.

0,397 mikrona do 1,6 milimikrona (*) (od 760 milionów do 190 miliardów megacykli).

Dalej idą promienie Röntgena, z których najkrótsze (najtwardsze) mają długość jakiejś setnej części milimikrona (30 bilionów t.j. milionów milionów megacykli), a za nimi t.zw. promienie „gamma”, powstające przy promieniotwórczym rozpadzie atomu, z których promienie, jakie obserwujemy przy rozpadzie toru C, mają długość 5 dziesięciotysięcznych części milimikrona (t.j. częstotliwość 600 bilionów megacykli!). Jeszcze od nich krótsze są promienie kosmiczne, jeżeli wogóle są to promienie, a nie innego charakteru zjawiska fizyczne.

W ten sposób znamy już dziś całą gamę promieni, które — mimo że znane nam dziś najdłuższe z nich są około 600000 bilionów razy dłuższe od znanych promieni najkrótszych — tym nie mniej mają wszystkie jedną i tę samą naturę fizyczną — fal elektromagnetycznych.

Zdawałoby się więc, że ta przynajmniej dziedzina fizyki nie dopuszcza już do żadnych „nowinek”.

A jednak! Wykryte jeszcze przez *Hertza*, a pogłębione przez *J. J. Thomsona* zjawisko fotoelektryczności zdawało się początkowo pasować do tego schematu. Polega ona na tym, że gdy światło, widoczne, czy też niewidoczne (byłe tylko o dostatecznej częstotliwości), pada na odpowiednio spreparowaną powierzchnię metalu (np. selenu), umieszczoną w próżni, to powierzchnia ta poczyną wydzielać prąd elektryczny. Jest to właśnie zasada komórki fotoelektrycznej, podstawowej części nowoczesnej aparatury telewizyjnej (przekazywania obrazów na odległość).

Gdy jednak zaczęto się przyglądać bliżej zjawiskom fotoelektrycznym, to mina fizykom trochę zrzedła. Na podstawie teorii falowej (czy też udoskonalonej teorii elektromagnetycznej), nie można już było wytłumaczyć, dlaczego bardzo intensywne nawet światło, ale o małej częstotliwości, nie wywołuje żadnych skutków fotoelektrycznych, a znacznie od niego słabsze światło o większej częstotliwości skutki te wywołuje. Stwierdzono dalej, że wyzwolony prąd

*) Milimikron jest tysięczną częścią mikrona, a więc milionową częścią milimetra.

elektryczny, to nie innego, jak szybki ruch niesłychanie drobnych cząsteczek, zwanych elektronami, o których będzie szeroko mowa dalej. Dziś — dodajmy nawiasowo — wiemy już, że każdy prąd elektryczny to nie innego, jak właśnie ów ruch elektronów, o czym dalej będziemy mówić szerzej.

Zdziwieni tym nowym dla nich zjawiskiem fizycy poczęli więc mierzyć szybkość tych elektronów i ze zdumieniem przekonali się, że zależy ona wyłącznie od częstotliwości padającego światła, będąc całkowicie niezależną od jego intensywności.

Wzrost siły światła zwiększał mianowicie jedynie natężenie prądu, tj. ilość elektronów, wyrzucanych z płytki metalowej w jednostce czasu, nie miał zaś żadnego wpływu na szybkość wyrzucanych elektronów. To już z teorią falową w żaden sposób pogodzić się nie dało.

Drugim z kolei ciosem dla teorii falowej było to t.zw. promieniowanie cieplne. Doświadczenie wykazuje, że gdy podgrzejemy jakieś ciało, to poczyną ono wysyłać promienie (głównie podczerwone), przy czym charakter tego promieniowania zmienia się wraz z temperaturą, co widać wyraźnie na rys. 3, przedstawiającym rozkład intensywności fal poszczególnych długości w zależności od ich długości (w mikronach) przy różnych temperaturach. Rysunek ten wykazuje, że im wyższa temperatura, tym krótsze są fale, jakie dane ciało wysyła.

Ani ten fakt, ani też rozkład intensywności poszczególnych fal przy danej temperaturze również nie dały się w żaden żywy sposób wyjaśnić przy pomocy teorii falowej.

Ażeby jakoś wyjść z tego impasu, wpadł *Einstein*, opierając się o poprzednie prace *Planck'a*, na pomysł niesłychanie prosty: zaproponował powrót do dawnej, zarzuconej teorii cząsteczkowej Newtona.

Jak to? Przed chwilą przecież wykazaliśmy, że teoria cząsteczkowa nie daje się pogodzić ze zjawiskiem interferencji i uginania się światła? Tak, ale na tym właśnie polega genialność koncepcji *Einsteina*, że pogodził *Newtona* z *Huygensem*: światło nie jest ani tylko falą, ani tylko cząsteczką, lecz jest falą i cząsteczką równocześnie.

Wydaje się to mocno dziwne, tak jak gdyby ktoś po-

wiedział, że pewne stworzenie jest człowiekiem i koniem lub rzecz jakąś ogniem i wodą równocześnie. *Einsteinowi* jednak udało się stworzyć teorię matematyczną, która doskonale godzi ze sobą te dwie — zdawałoby sprzeczne ze sobą — natury światła.

Pomimo to jednak rozwiązanie to było początkowo fizykom mocno nie w smak.

Od tak dawna przyzwyczaili się operować w fizyce modelami, obrazami, podobieństwami, aż tu naraz trzeba było przyznać się do porażki i wprowadzić nie jeden, ale dwa różne i sprzeczne ze sobą obrazy, z których każdy przedstawia nie całą istotę zjawiska, ale tylko jego część. Nie przestali więc żywić nadziei, że to tylko rzecz przejściowa i że wreszcie przyjdzie taki uczony, któremu uda się znaleźć obraz, godzący teorię falową z teorią cząsteczkową.

Ale — jak mówi przysłowie — „im dalej w las, tym więcej drzew”. Im głębiej poznawaliśmy świat mikrofizyczny, tym większe były trudności, by dla matematycznych teorii, opisujących ściśle przebieg zjawisk świata atomowego, znaleźć jakieś modele, obrazy, ilustrujące naocznie tę tak dziwną dla naszych przyzwyczajeń rzeczywistość. Jedne próby po drugich zawodziły, aż wreszcie fizycy zrozumieli tę podstawową dziś prawdę, że najgłębsze zjawiska przyrody zachodzą w jakimś ośrodku, niepojętym dla umysłu ludzkiego i którego obrazu człowiek nie jest w stanie sobie wytworzyć. Na skutek tego faktu zjawisk, zachodzących w tym świecie mikrofizyki, nie da się przedstawić przy pomocy obrazów lub modeli, zrozumiałych dla człowieka.

Ponieważ jednak nawet matematyk, operujący oderwanymi symbolami, chciałby sobie wyobrazić obraz, wzorom tym odpowiadający — a cóż dopiero zwykły śmiertelnik, którego na widok wzorów wyższej matematyki obejmuje przerażenie — nowoczesna fizyka, aby stać się zrozumiała, musi mimo wszystko stwarzać jakieś modele.

Ze względu jednak na wspomnianą wyżej niewyobrażalność podstawowych elementów fizyki, są to z konieczności rzeczy jedynie obrazy cząstkowe, dające tylko pewne aspekty rzeczywistości, ale nigdy istotę całą zjawiska; część prawdy, nigdy prawdę całą — gdyż obrazy te są fałszywe i muszą być fałszywe przez sam fakt, że są obrazami.

Do sprawy tej wrócimy jeszcze w dalszym ciągu naszych wywodów.

Na razie jednak ograniczmy się do postawionego na wstępie pytania: czym jest światło?

Jak widzieliśmy, ma ono naturę dwojaką, zarówno falową, jak i cząsteczkową. Obie te natury stapiają się w jedną w matematycznych wzorach; jeżeli jednak operujemy obrazami, to musimy ograniczyć się do powiedzenia, że w jednych zjawiskach, jak n.p. interferencja, czy uginanie się światła, wysuwa się na czoło falowa natura światła, w innych zaś, jak fotoelektryczność, czy promieniowanie cieplne, jego natura cząsteczkowa.

Coś jakgdyby natura naśladowała znaną powieść angielską „Dr. Jekyll i Mr Hyde”, gdzie to pewnemu lekarzowi udało się przy pomocy odpowiednich zabiegów być raz pełnym cnoty i rozumu lekarzem, drugi raz zaś najbardziej wyrafinowanym zbrodniarzem!

Ale nie na tym tylko stwierdzeniu polega znaczenie idei *Plancka* i *Einsteina*. Wykazali oni ponadto — i to ma jeszcze większe znaczenie dla nowoczesnej fizyki, że wszelka energia (a więc i energia promienista) nie jest ciągła, lecz że — podobnie jak materia — składa się z atomów energii, które *Planck* nazwał kwantami. Jeżeli więc jedno ciało przekazuje drugiemu energię, to nie może przekazać mu jej ilości dowolnej, ale zawsze tylko jakąś całkowitą wielokrotność owej najmniejszej jednostki energii, owego kwantu, charakterystycznego dla danego typu zjawiska.

Budowa atomowa, budowa ziarnista, obejmuje więc zarówno świat materii, jak i świat energii, co jeszcze bardziej czyni jasnym, że obie te wielkości to tylko dwie różne postacie jednej wspólnej, tajemniczej materio-energii.

W wypadku światła kwanty te nazywają się fotonami, przy czym energia takiego fotonu jest tym większa, im fala jest krótsza t.j. im częstotliwość jej jest większa (*).

*) Jeżeli n jest częstotliwością danego promieniowania, to energia jednego fotonu E wyraża się wzorem

$$E = h n,$$

gdzie h , tzw. stała Plancka, odgrywająca olbrzymią rolę w nowoczesnej fizyce atomowej, wynosi $6,61 \times 10^{-34}$ jouli sek (1 KWh ma 3,6 milionów

Rozumiemy teraz, dlaczego, im większa częstotliwość fali, tym promienie jej są bardziej przenikliwe, a więc promienie Röntgena bardziej niż świetlne, a promienie gamma silniej, niż promienie Röntgena i dlatego röntgenolodzy poszukują promieni coraz „twardszych”, t.zn. o coraz większej częstotliwości (*).

Każde więc źródło światła, wyrzuca ze siebie w przestrzeń w każdej sekundzie (**) olbrzymią ilość fotonów.

Nie jest to tylko teoria, taka matematyczna fantazja fizyków; istnieją dziś bowiem liczniki, które pozwalają na dokładne ustalenie ilości fotonów, wpadających w ciągu określonego czasu (np. sekundy) do zamkniętej przestrzeni przez bardzo drobny otwór, podobnie jak licznik, umieszczony przy kołowrotku u wejścia do sali wystawowej, liczy gości, zwiedzających wystawę.

Cząsteczkową budowę energii promienistej można więc wykazać doświadczalnie.

Drobne te atomy energii poruszają się oczywiście z szybkością światła tj. 300000 km/sek. Już samo to świadczy, że

jouli). W ten sposób, jeżeli weźmiemy promienie nadfioletowe o długości 0,3 mikrona, to trzeba ich aż 240 kwadrylionów (milionów milionów milionów milionów) fotonów, by ich energia była równa jednej *milijonowej* części kilowatgodziny. Jest to ilość tak duża, że gdyby w jednym milimetrze umieścić *milijon* fotonów, to taśma utworzona z 240 kwadrylionów fotonów pokryłaby 800000 razy drogę od ziemi do słońca tam i spowrotem. Widzimy więc, że energia promienista jest niesłychanie mała.

*) Promienie Röntgena powstają wtedy, gdy przez rurkę próżniową przepływa prąd elektryczny o dużej różnicy napięcia. Tworzące ten prąd elektryczny elektrony nabierają — pod wpływem różnicy napięcia elektrycznego — dużych szybkości, a tym samym i dużej energii kinetycznej. Padając więc na ściankę rurki próżniowej, pobudzają ją (mechanizm tego pobudzania zostanie omówiony dalej) do wydzielania intensywnego świecenia o dużej energii, a więc do promieniowania fal bardzo krótkich, znacznie krótszych, niż fale nadfioletowe. Długości fal Röntgena zawierają się w granicach od dziesięciu milionowych części milimetra (10 milimikronów) — są to fale bardzo „miękkie” — do jednej stumilionowej części milimetra (jednej setnej milimikrona) — fale bardzo „twarde”.

**) Źródło światła o sile jednej świecy wypromieniowuje w czasie sekundy setki tysięcy bilionów (milionów milionów) fotonów.

nie mogą one mieć żadnej masy, że są więc — jak słusznie zakładał *Newton* — nieważkie.

Wedle teorii względności bowiem masa ciała rośnie wraz z szybkością jego ruchu (*).

Wzrost masy przy szybkościach, z jakimi mamy zwykle do czynienia, jest tak drobny, że nie możemy go stwierdzić nawet najczulszymi przyrządami, to też trudno się dziwić, że fizycy poprzednio nie wykryli tego zjawiska.

I tak np. przy szybkości 3 km/sek (dwa razy większej od najszybszego pocisku) masa wzrasta zaledwo o 0,005%. Przy większej szybkości wzrost masy ilustruje poniższa tabela:

10%	0,5%
50%	15 %
75%	51 %
86,2%	2 razy
90%	2,3 raza
95%	3,2 »
99%	7,1 razy
99,9%	22,2 »
99,99%	71 »

Przy szybkości ciała, równej szybkości światła, masa jego byłaby nieskończenie wielka. Żadne więc ciało materialne nie może osiągnąć szybkości światła, co jest jednym z podstawowych praw teorii względności.

Fotony więc, biegnące z szybkością światła, nie mogą mieć masy.

Te wiadomości, podobnie jak i poprzednio podane wła-

*) Według teorii względności masa m ciała, poruszającego się z szybkością v , a którego masa w stanie spoczynku jest m_0 , wynosi

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

gdzie c jest szybkością światła.

sności fotonów, będą nam pożyteczne do zrozumienia budowy atomu.

Jak zbudowany jest atom?

Jak już wspomnieliśmy poprzednio, stworzenie dokładnego obrazu budowy atomu nie jest rzeczą możliwą. Wymaga to bardzo zawilej teorii matematycznej, która i dziś jeszcze nie jest w pełni zdolna ująć bez reszty niezmiernie licznych danych doświadczalnych jakie posiadamy.

Postąpimy więc w ten sposób, że w pierw przedstawimy obraz najprostszy, najłatwiejszy do zrozumienia, ale i tym samym najbardziej odległy od rzeczywistości i na tym prostym obrazie omówimy te wszystkie własności atomu, które przy jego pomocy dadzą się wyjaśnić. Później dopiero starać się będziemy — tam gdzie to będzie konieczne — obraz ten bardziej precyzować w szczegółach.

Zanim jednak przystąpimy do jego przedstawienia, ustalmy kilka faktów podstawowych.

Atom składa się (i to jest zupełnie ściśle) z jądra atomowego, którego własnościami zajmimy się w dalszym ciągu naszych wywodów i z szeregów elektronów, o których również dalej będziemy szerzej mówić (z t.zw. powłoki elektronowej).

Zarówno jądro, jak i elektron nie są elektrycznie obojętne. Elektrony są to bowiem jak gdyby najmniejsze atomy elektryczności i ich ładunek (ujemny) jest tą najmniejszą ilością, w jakiej elektryczność wogóle może występować. Nazywamy więc ładunek ich ładunkiem elementarnym (*).

Jądro natomiast jest naładowane dodatnio i ma tyle

*) Wynosi on $1,601 \cdot 10^{-19}$ kulomba. Tzn. trzeba aż 16 trylionów takich ładunków, by otrzymać jeden kulomb. Jest to ilość tak duża, że gdyby jeden człowiek miał przy sobie bilion (t.j. milion milionów) takich ładunków elementarnych, to dla przeniesienia razem jednego kulomba ładunku trzebaby było użyć aż 16 milionów ludzi, t.j. prawie połowy całej ludności Polski.

Przypominamy, że kulomb jest to ta ilość elektryczności, jaką w czasie jednej sekundy przenosi prąd o natężeniu 1 ampera.

ładunków dodatnich, ile powłoka elektronowa zawiera elektronów, lub raczej — ściślej mówiąc — powłoka elektronowa składa się z tylu elektronów, ile ładunków dodatnich ma jego jądro.

Atom jest więc elektrycznie obojętny.

Ładunek dodatni jądra atomowego nazywamy jego liczbą atomową. On to i on jedynie decyduje o właściwościach chemicznych danego atomu, jak o tym dalej będzie mowa.

Masa atomu jest w olbrzymim procencie skupiona w jego jądrze. I tak w atomie wodoru, związany z jądrem elektron waży $1/1837$ części ciężaru atomu, a w uranie 92 elektrony, które tworzą jego powłokę elektronową, stanowią ledwo $1/4750$ część masy całego atomu.

Uzbrojeni w te wiadomości możemy obecnie przystąpić do przedstawienia owego najprostszego obrazu atomu, który — rzecz ciekawa — jest również historycznie najwcześniejszym. Zawdzięczamy go mianowicie fizykowi Bohrowi, później jednemu ze współtwórców bomby atomowej.

Wedle tego ułożonego, atom jest czymś w rodzaju układu słonecznego, złożonego ze słońca — jądra atomowego i krążących dokoła niego planet — elektronów (rys 4) (*).

Co nas w obrazie tym w pierwszym rzędzie uderza, to niesłychana pustka przestrzeni wewnątrz-atomowej. Porównując z układem słonecznym, można podać, że n.p. dla atomu helu najbliższy elektron jest (w proporcji do średnicy jądra) w takiej odległości, jak jedna z najodleglejszych planet, Neptun (30 razy bardziej odległa od słońca, niż ziemia) w stosunku do słońca w naszym układzie słonecznym; średnica mianowicie „orbity” tego elektronu jest 6400 razy większa od średnicy jądra atomowego.

W atomie uranu rozmiar „układu planetarnego” jest jeszcze większy. Zewnętrzna orbita elektronowa, a więc to, co potocznie nazywamy średnicą atomu, jest 9400 razy większa od średnicy jądra atomowego. Ostatni więc elektron

*) Dla porównania na rysunku tym podano wielkość jednej dziesięciomilionowej części milimetra (jednej dziesiątej milimikrona). Powiększenie to jest tak duże, że w porównaniu z nim Kula bilardowa byłaby wielkości kuli ziemskiej.

uranu jest — w proporcji — o 12% dalej od jądra, niż najbliższa planeta naszego układu słonecznego, Pluton (40 razy bardziej odległy od słońca niż ziemia), od słońca.

Ażeby jeszcze jaśniej uwydatnić, jak bardzo puste jest wnętrze atomu, zauważmy, że w 10 m³ miedzi zaledwo 1 mm³ (jeden milimetr sześcienny) przestrzeni jest zajęty materią, a cała reszta to tylko pusta przestrzeń.

Gdyby w atomach, stanowiących ciało człowieka, usunąć tę niewypełnioną materią przestrzeń, to ciało nasze skurczyłoby się do wymiarów pyłka, tańczącego w promieniach słońca.

Ta przeraźliwa pustka wnętrza atomu pozwoli nam lepiej zrozumieć trudności, na jakie napotyka problem rozszczepienia atomu, owego podstawowego zjawiska w wybuchu bomby atomowej.

Podany wyżej obraz budowy atomu tłumaczy nam wiele zjawisk z licznych dziedzin fizyki. Wiemy np., że przy wysokich ciśnieniach, takich, jakie spotykamy n.p. w lufie armatniej, od przestrzeni, zajętej przez gaz, należy przy rachunku zawsze odjąć pewną przestrzeń zwaną „współobjętościową” gazu, a będącą najmniejszą objętością, do której wogóle gaz daje się ścisnąć. Gdy jednak ciśnienia przekraczają już setki tysięcy atmosfer, współobjętość się zmniejsza, tak jak gdyby przy tych wielkich ciśnieniach atom się kurczył. Znając budowę atomu, rozumiemy, że istotnie tak jest. Co więcej, przy olbrzymich ciśnieniach milionów atmosfer, jakie panują we wnętrzu gwiazd, atom kurczy się jeszcze bardziej i materia przyjmuje — jak dalej zobaczymy — gęstości zupełnie nie spotykane na ziemi.

Jak już powiedzieliśmy, elektron naładowany jest ujemnie, jądro atomowe dodatnio.

Jasną więc jest rzeczą, że jądro przyciąga elektrony.

Jeżeli więc elektrony nie „upadają” na jądro, to dlatego, że wykonują dokoła niego szybkie ruchy obrotowe, podobnie jak ziemia nie spada na słońce, mimo iż słońce ją przyciąga, tylko dlatego, że z dużą szybkością krąży dokoła niego (*).

*) Obraz ten w świetle nowoczesnej fizyki atomowej nie jest zupełnie ścisły, pozwala jednak w sposób dość jasny zrozumieć własności budowy atomu.

Jeżeli więc chcemy elektron oddalić od jądra atomowego, to trzeba pokonać siłę przyciągania elektrycznego, a więc wykonać pewną pracę, podobnie jak trzeba wykonać pracę, by wnieść blok kamienny na szczyt Giewontu. Im więc elektron znajduje się dalej od jądra, tym większa jego energia potencjalna, podobnie jak większa jest energia potencjalna wody u szczytu zapory, niż u jej podnóża.

Dlatego też owe „orbity” elektronów nazywamy dziś „poziomami energetycznymi” elektronów i ta ich nazwa jest znacznie bardziej ścisła i zgodna z nowoczesnymi teoriami fizyki atomowej, niż „orbita”.

Tu jednak zachodzi pewna istotna różnica między fizyką, jakiej nauczono nas w szkole, fizyką ciał stosunkowo dużych, a fizyką atomu (mikrofizyka). Wedle praw klasycznej mechaniki, planeta może krążyć dokoła słońca na dowolnej od niego odległości. Każda jej odległość jest dobra, byle tylko szybkość ruchu planety zawierała się w granicach, które mechanika zezwala dokładnie obliczyć.

Inaczej zupełnie przedstawia się sprawa w świecie atomowym.

Jak bowiem mikrofizyka wykazuje w sposób zupełnie ścisły, elektron nie może znaleźć się na dowolnym poziomie energetycznym w stosunku do jądra, lecz może zajmować jedynie pewne, ściśle określoną poziomy, które teoria pozwala doskonale obliczyć (*). Na innych poziomach elektron w żadnym wypadku znaleźć się nie może.

Idąc od jądra atomu, mamy szereg takich kolejnych „dozwolonych” poziomów, które fizycy ponazywali literami K, L, M, N, O, P, Q i które potocznie będziemy nazywać pierścieniami K, L i td. Wyliczone wyżej pierścienie od K do Q są to te poziomy, na jakich znajdują się elektrony znanych nam na ziemi pierwiastków, gdy są one w stanie normalnym, jak powiedzielibyśmy w mechanice „w stanie spoczynku”. Nazwa ta w odniesieniu do atomu jest oczywiście mocno nieścisła.

*) Wynika to z kwantowej budowy energii, gdyż energia elektronu może być jedynie całą wielokrotną podstawowego kwantu, który teoria dokładnie wyznacza.

Przykłady schematyczne takiej budowy kilku atomów przedstawia rys 5 (*).

Nie znaczy to jednak, że elektron może znajdować się zawsze tylko na tym pierścieniu, na jakim mieści się w normalnym stanie atomu. Dla prostoty zacznijmy od atomu wodoru. W stanie normalnym jego elektron — jedyny elektron, jaki wodór posiada — znajduje się na pierścieniu *K*.

Niech teraz jednak na taki atom wodoru podziała jakaś siła, a więc np. niech w jego elektron uderzy foton o dużej energii (a więc odpowiadający fali o dużej częstotliwości). Pod wpływem tego uderzenia elektron zostanie wytrącony ze swego położenia i — jeżeli energia uderzającego fotonu jest dostateczna — wyskoczy on z pierścienia *K* i przejdzie na pierścień dalszy i to tym dalej, im większa jest energia, jaką posiada foton.

Elektron jednak nie może pozostać w tym położeniu całą wieczność. Taki bowiem pobudzony atom ma nadmiar energii i dążyć musi — w myśl ogólnych zasad fizyki — do powrotu w położenie, które w mechanice nazwalibyśmy położeniem równowagi, podobnie jak n.p. czyni to wychylone wahadło. Wykona to jednak zupełnie inaczej, niż wahadło. Ze względu na kwantową budowę energii, decydującą w zjawiskach fizyki atomu, powrót do położenia równowagi odbywać się będzie nie w drodze ciągłego ruchu elektronu — tak jak to miałyby miejsce w wypadku wahadła — ale w postaci skoku elektronu z pierścienia dalszego na pierścień bliższy, przy czym czas trwania atomu w stanie pobudzonym nie przekracza jednej stu milionowej części sekundy.

Wykonując taki skok, elektron obniża swój poziom energetyczny, wyzwalając energię w ilości, jaką teoria pozwala dokładnie obliczyć; wydziela więc określony kwant energii. Gdzie się ona podziewa? Odpowiedź jest prosta. Zo-

*) Zastrzegam się, że — jak później o tym będzie mowa — są to tylko schematy dość odległe od istotnego zachowania się elektronów na pierścieniach.

elektronie, a bardzo wiele o dużej ich ilości.

Nie są to prawa przyczynowe klasowej fizyki, ale prawa statystyczne.

Różnicę między prawem statystycznym, a prawem przyczynowym dobrym przykładem ilustruje *Eddington*, mówiąc, że mają się one do siebie tak, jak „diagnoza lekarza, który Ci powiada, że masz jeszcze 3 tygodnie życia przed sobą i ocena Urzędu Ubezpieczeń, który Ci mówi, że Twoje prawdopodobieństwo przeżycia wynosi 18,7 lat”.

Istotnie z faktu, że człowiek x letni ma prawdopodobieństwo przeżycia 19 lat, nie wynika bynajmniej, że Jan, który dziś kończy lat x , musi umrzeć za 19 lat. Równie bowiem dobrze może Jan umrzeć jutro, jak i za lat 40; przyczyną jego śmierci może być rak, skleroza, zapalenie płuc, czy kula zazdrosnej żony, lub też wypadek samochodowy. Niczego tu prawo statystyczne przewidzieć nie może. Mówi ono tylko jedno: jeżeli warunki się nie zmieniają poważnie (np. nie nastąpi wojna, lub nie przyjdzie jakiś przewrót ekonomiczny — w fizyce nazywa się to „gdy warunki doświadczenia zostaną identyczne”), to z 100 000 ludzi, dziś mających x lat, z grubsza mówiąc, 50 000 umrze w wieku młodszym, niż x plus 19 lat, 50 000 zaś w wieku starszym. O losie poszczególnego człowieka jednak prawo statystyczne nie powiedzieć nie może.

Prawo statystyczne może przewidywać przyszłość, ale znów tylko przyszłość mas; może powiedzieć, jaki będzie za 50 lat procentowy skład społeczeństwa pod względem wieku, czy płci (jeżeli w międzyczasie nie zajdą nieprzewidziane wypadki), ale napewno nie potrafi przepowiedzieć, czy Marek za rok będzie miał syna, czy córkę.

Prawo statystyczne może ustalić związki między dwoma zjawiskami, ale związki te noszą zupełnie inny charakter, niż ściśle węzły przyczynowe, jakie stosuje klasyczna fizyka.

Jeżeli np. obserwacja statystyczna wykrywa, że w społeczeństwach rolniczych ilość małżeństw wzrasta w latach urodzaju, to wolno powiedzieć, że dobre urodzaje są przyczyną wzrostu małżeństw: lub — ściślej mówiąc — że w roku dobrego urodzaju prawdopodobieństwo, iż Franek ożeni się z Marysią, jest większe, niż w roku złego urodzaju. Ale na pewno, gdy szewc Franek żeni się na Podwalu ze

Nie tylko więc nie możemy przepowiedzieć, co uczyni w określonych warunkach pojedynczy elektron, ale — więcej jeszcze — wiemy, że nigdy nie będziemy mogli tego przepowiedzieć i że owa nieokreśloność zachowania się poszczególnej cząsteczki elementarnej jest podstawową własnością świata mikrofizycznego.

Położenie — przyznać trzeba — paradoksalne. Elektron więc w stosunku do działających nań sił zachowuje się nie tak, jak n.p. pocisk działowy, czy tłok silnika, których reakcję na działające nań siły ściśle możemy określić, ale jak gdyby był jakąś istotą żywą, jak ów osioł ze znanej bajki o Jacku i osle, co do którego nigdy przewidzieć nie będziemy w stanie, czy — gdy Jacek pociągnie go za ogon — pójdzie do przodu, czy do tyłu, w bok, lub też po prostu wierzgnie tylnymi nogami, nabijając Jackowi mocny guz na kolanie.

Oczywiście elektron nie jest żadną istotą żywą, a takie zachowanie się jego jest jedynie wynikiem tego, że w świecie mikrofizycznym nie istnieje ścisły, sztywny związek między przyczyną i skutkiem.

Czyżby to więc oznaczać miało, że nowoczesna fizyka atomowa odrzuciła wogóle związki między zjawiskami? Oczywiście że nie, jedynie tylko charakter tych związków jest zupełnie inny w mikrofizyce, niż w świecie dostępnym naszym zmysłom. Jak mówi jeden z najwybitniejszych twórców mechaniki kwantowej *Dirac*, „wynik doświadczenia nie jest określony przez warunki, stworzone przez eksperymentatora tak, jak tego wymagały idee klasyczne. Jedyną rzeczą, jaką można przepowiedzieć, to zbiór możliwych wyników i prawdopodobieństwo każdego z nich”.

Co to znaczy? Jeżeli mamy jeden tylko elektron na pierścieniu *Q*, to nie o nim przepowiedzieć nie możemy. Jeżeli jednak mamy milion atomów wodoru, z których każdy ma elektron na pierścieniu *Q*, to możemy z dużą dokładnością przepowiedzieć, że określony ich procent przeskoczy na pierścień *K*, inny na pierścień *L*, inny wreszcie na pierścień *M*. Potrafimy również przepowiedzieć, w jakim procencie atomów przeskoczek ten nastąpi w ciągu jednej miliardowej sekundy, a w jakim w ciągu 3 miliardowych sekundy.

Innymi słowy nie możemy powiedzieć o jednym

elektronie, a bardzo wiele o dużej ich ilości.

Nie są to prawa przyczynowe klasowej fizyki, ale prawa statystyczne.

Różnicę między prawem statystycznym, a prawem przyczynowym dobrym przykładem ilustruje *Eddington*, mówiąc, że mają się one do siebie tak, jak „diagnoza lekarza, który Ci powiada, że masz jeszcze 3 tygodnie życia przed sobą i ocena Urzędu Ubezpieczeń, który Ci mówi, że Twoje prawdopodobieństwo przeżycia wynosi 18,7 lat”.

Istotnie z faktu, że człowiek x letni ma prawdopodobieństwo przeżycia 19 lat, nie wynika bynajmniej, że Jan, który dziś kończy lat x , musi umrzeć za 19 lat. Równie bowiem dobrze może Jan umrzeć jutro, jak i za lat 40; przyczyną jego śmierci może być rak, skleroza, zapalenie płuc, czy kula zazdrosnej żony, lub też wypadek samochodowy. Niczego tu prawo statystyczne przewidzieć nie może. Mówi ono tylko jedno: jeżeli warunki się nie zmieniają poważnie (np. nie nastąpi wojna, lub nie przyjdzie jakiś przewrót ekonomiczny — w fizyce nazywa się to „gdy warunki doświadczenia zostaną identyczne”), to z 100 000 ludzi, dziś mających x lat, z grubsza mówiąc, 50 000 umrze w wieku młodszym, niż x plus 19 lat, 50 000 zaś w wieku starszym. O losie poszczególnego człowieka jednak prawo statystyczne nie powiedzieć nie może.

Prawo statystyczne może przewidywać przyszłość, ale znów tylko przyszłość mas; może powiedzieć, jaki będzie za 50 lat procentowy skład społeczeństwa pod względem wieku, czy płci (jeżeli w międzyczasie nie zajdą nieprzewidziane wypadki), ale napewno nie potrafi przepowiedzieć, czy Marek za rok będzie miał syna, czy córkę.

Prawo statystyczne może ustalić związki między dwoma zjawiskami, ale związki te noszą zupełnie inny charakter, niż ścisłe węzły przyczynowe, jakie stosuje klasyczna fizyka.

Jeżeli np. obserwacja statystyczna wykrywa, że w społeczeństwach rolniczych ilość małżeństw wzrasta w latach urodzaju, to wolno powiedzieć, że dobre urodzaje są przyczyną wzrostu małżeństw: lub — ściślej mówiąc — że w roku dobrego urodzaju prawdopodobieństwo, iż Franek ożeni się z Marysią, jest większe, niż w roku złego urodzaju. Ale na pewno, gdy szewc Franek żeni się na Podwalu ze

których one powstają. Żrące własności ługu sodowego zawdzięczamy np. wolnemu jonowi Na^+ ; podczas gdy sam sód, niezjonizowany, jest spokojnym, niewinnym, srebrzystym metalem. Przykładów takich można by przytoczyć znacznie więcej.

Jony wolne spotykamy często w przyrodzie, najczęściej w roztworach wodnych, gdzie poznano je po raz pierwszy, przy czym różne ciała w różnych temperaturach rozdzielają się na jony, czyli dysocjują w różnym stopniu. I tak np. w temperaturze pokojowej roztwór soli jest niemal całkowicie już zdysocjowany.

Wolne jony istnieją również i w gazach (a więc np. i w atmosferze); powstają one pod wpływem działania promieni o dużej energii, a więc krótkich, jak wspomniane już nadfiołkowe, dużych różnic napięć elektrycznych, silnych uderzeń cząsteczki o cząsteczkę (wysoka temperatura i t.p.).

Jeżeli w takim ośrodku zjonizowanym umieścimy np. dwie płytki metalowe, jedną o napięciu ujemnym (katodę), a drugą o dodatnim (anodę), to — jak to wspomnieliśmy już poprzednio — kationy (jony dodatnie) zaczną wędrować do katody, a aniony (jony ujemne) do anody. Powstanie prąd elektryczny. Kationy łączyć się będą z nadliczbowymi wolnymi elektronami katody (*), natomiast aniony swe elektrony nadliczbowe oddawać będą anodzie.

W rezultacie więc elektrony z katody przenosić się będą (drogą pośrednią co prawda) na anodę i prąd elektryczny będzie po prostu ruchem elektronów z katody na anodę, z tym tylko, że środkiem transportowym dla elektronów będą w tym wypadku jony.

Znamy jednak — np. w gazach rozrzedzonych — również i prądy elektryczne, polegające na ruchu samych swobodnych, z niczym nie związanych elektronów. I tak np. w napełnionej silnie rozrzedzonym gazem rurce *Crookes'a* (t.zw. lampa katodowa), gdy dużą różnicę potencjałów przyłożymy do obu jej końców, między katodą a anodą przebiegać będzie prąd elektryczny w postaci t.zw. promieni

*) Która właśnie dlatego ma ładunek ujemny, że ma nadmiar wolnych elektronów.

katodowych, tj. strumienia wyrwanych z katody elektronów, biegnących z dużą szybkością.

Takie prądy elektryczne w rozrzedzonych gazach spotykamy obecnie w technice niezmiernie często. One to, wyrwane z rozgrzanej prądem elektrycznym katody i uderzając z dużą energią w anodę lamp röntgenowskich, powodują przeskok elektronów z powłoki elektronowej tworzących ją atomów na dalekie orbity, a tym samym fale o dużej energii, zwane promieniami Röntgena.

One to również, wyrwane prądem żarzenia z katody lampy radiowej, stanowią istotne źródło cudownego działania radioodbiornika.

Podobny ruch wolnych elektronów spotykamy i przy przechodzeniu prądu elektrycznego przez przewodniki metalowe. W metalach elektrony „siedzą” dość słabo i małe stosunkowo siły już wystarczą, by je stamtąd wyrwać (*). Gdy więc na obu końcach przewodnika metalowego przyłożymy różnicę napięcia elektrycznego, to elektrony poczną wędrować po przewodniku, tworząc prąd elektryczny. A płynie ich ilość bardzo znaczna, jak to dobrze ilustruje porównanie słynnego fizyka *Millikana*, które podamy z drobną zmianą, lepiej zrozumiałą dla polskiego czytelnika. Otóż, gdybyśmy chcieli policzyć ilość elektronów, które w ciągu jednej sekundy przepływają przez żarówkę elektryczną o sile 16 świec, to 35 milionów mieszkańców Polski musiałoby do tego celu użyć trzydziestu lat, licząc przy tym po jednym elektronie na sekundę, bez przerwy, bez odpoczynku, nie jedząc, nie śpiąc, nie chorując i oczywiście również nie umierając w tym czasie.

Prąd elektryczny jest to więc po prostu ruch elektronów.

Co to jest elektron?

Tyle dotąd mówiliśmy o elektronie, czas więc, by zapytać się — a cóż to właściwie jest ten elektron?

*) Strukturę metalu możemy obrazowo przedstawić jako krę jonów (dodatnich) metalu, pływających gęsto w rzece wolnych elektronów, co stanowi połączenie tak mocne, że bardzo skutecznie opiera się siłom mechanicznym, dążącym do jego rozerwania.

Może wydać się to czytelnikowi dziwnym, lecz na pytanie to można odpowiedzieć tylko jedno: nie wiemy. Co więcej, należy dodać, w gruncie rzeczy pytanie to wogóle nie ma sensu.

Jeżeli bowiem chcę wiedzieć, co to jest atom, to mówię: jest to jądro atomowe oraz jego powłoka elektronowa. Aby odpowiedzieć na pytanie, co to jest jądro, muszę rozłożyć je znów na części jeszcze mniejsze, jak to uczynimy w dalszym ciągu naszych wywodów. Wszystko więc dzieje się tu podobnie, jak w staroegipskim wierzeniu, że ziemia spoczywa na olbrzymim byku, ten stoi na krokodylu, a krokodyl leży wygodnie na jeszcze większym żółwiu. Kto jednak podtrzymuje z kolei tego żółwia? Na to już Egipcjanie nie umieli odpowiedzieć.

Otóż w nauce, jakimi drogami byśmy nie chodzili, zawsze dochodzimy ostatecznie do tego żółwia. Energię określamy przez pracę, pracę przez siłę i drogę, siłę przez masę i przyspieszenie, przyspieszenie przez drogę i czas. I na tym koniec. Czym bowiem jest ta masa, droga i czas, nie wiemy. Jeżeli zaś masę chcielibyśmy określić przez energię, to albo musielibyśmy zrezygnować z określania energii przez pracę, albo też kręcilibyśmy się w kółko, jak pies, goniący za własnym ogonem.

W każdej nauce mamy więc u jej podstaw jakieś pojęcia pierwsze, jakieś elementy zasadnicze, których już nie możemy dalej do niczego sprowadzić. Takim pojęciem pierwszym jest i nasz elektron.

Dawni fizycy radzili sobie w ten sposób, że nie mogąc znaleźć odpowiedzi na to, czym jest jakiś podstawowy element ich rozważań, stwarzali obraz, podobieństwo, przy pomocy którego czynili pojęcie to bardziej przystępnym. Wiemy jednak, że dziś w fizyce atomowej obraz, podobieństwo, nie są możliwe, że charakter owych najgłębszych, podstawowych zjawisk fizyki, jest tak różny od tego, co postrzegamy naszymi zmysłami, iż wiernego ich obrazu stworzyć nie jesteśmy w stanie.

I tak np. jak mówi fizyk *Jeans*, elektron możemy sobie wyobrazić jako malutki pocisk, poruszający się z dużą szybkością (np. przy zjawiskach przechodzenia strumienia elektronów przez cienki ekran). Gdy jednak elektron znajduje się w silnym polu elektrycznym, lub magnetycznym, obraz

ten już nie gra. Wtedy trzeba elektron wyobrazić sobie jako małą kulkę, z której wychodzą we wszystkie strony linie sił elektromagnetycznych, niby macki z ciała ośmiornicy.

Ale elektron nie jest to „pocisk plus ośmiornica”, bo wtedy masa jego musiałaby być dwa razy większa, niż jest w rzeczywistości. Jest on raz pociskiem, raz ośmiornicą: czasem zaś znów elektron, to jakaś fala, zupełnie podobna do fali świetlnej (mikroskop elektronowy), innym razem wreszcie rozplywa się on w twór zupełnie urojony, w jakąś „falę prawdopodobieństwa”, jak o tym dalej będzie mowa.

Musimy więc zrezygnować z obrazowego, modelowego przedstawienia elektronu.

Skoro więc zawodzi wyjaśnienie istoty elektronu na modelu, a do ciał jeszcze od niego prostszych sprowadzić go się nie da — pozostaje tylko jedno: wyliczenie własności elektronu, rezygnując z wszelkich obrazowych sposobów ujęcia tych własności w jedną całość *).

Zajmiemy się tutaj sprawą tą nieco szerzej, niż tego wymaga właściwy cel naszych wywodów: zrozumienie źródeł i zastosowań energii atomowej. Znajomość bowiem tego przedziwnego świata mikrofizyki, tak różnego od świata, do jakiego przyzwyczaiły nas nasze zmysły, pozwala nam głęboko wejść w samą istotę dzisiejszego naszego poglądu na świat i zrozumieć zasadnicze przemiany, jakie w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat zaszły w naszym stosunku do otaczającej nas rzeczywistości (**).

Ponieważ jednak sprawy te nie łączą się ściśle z celem książki, to też wszystkie te części naszych wywodów o elektronie, które nie są niezbędne do zrozumienia dalszej treści, drukujemy odmiennym krojem czcionek.

A więc przede wszystkim należy przypomnieć, że elektron ma ładunek ujemny, t.zw. ładunek elementarny, wynoszący, jak to podaliśmy już poprzednio (str. 23), 1,6 dziesięt-

*) Oczywiście metody matematyczne fizyki atomowej własności te ujmują w jedno, w sposób logicznie wynikający z założeń teorii, przyjętej w tym dziale fizyki.

**) Porównaj książkę autora « Wiedza i Wiara w świetle nowoczesnych poglądów fizycznych ». Nauka Chrystusowa. Nr. 41-42. Italia 1945.

ciotrylionowych części kulomba (*). Aby raz jeszcze unao-
cznić, jak drobna jest to ilość, stwierdzimy, że gdyby z okrą-
gło 2200 milionów mieszkańców ziemi każdy przynosił przy
sobie po 14 milionów takich ładunków elementarnych, to
razem utworzyłyby to nie jeden kulomb, ale ledwo jedną ty-
siączną jego część, a więc tę ilość elektryczności, jaką w ciągu
jednej sekundy przynosi prąd jednego miliampera.

Elektron jest niesłychanie lekki. Waży on 1837 razy
mniej, niż jądro atomu wodoru. Trzeba więc 1100 kwadrylio-
nów (milionów milionów milionów milionów) elektronów, by
suma ich dała razem masę jednego grama. Jest to ilość tak
szalona, że gdyby wszystkie elektrony, ważące w sumie ra-
zem jeden gram, nanizać na różaniec po jednym elektronie
co milimetr, to otrzymalibyśmy nitkę takiej długości, że świa-
tło, które — jak wiadomo — biegnie z olbrzymią szybkością
300000 km/sek, a więc przebywa w ciągu roku prawie 10 bi-
lionów (milionów milionów) kilometrów (**), musiałoby zu-
żyć 115 milionów lat, by różaniec tej przejść od końca
do końca. Dla porównania dodamy, że światło jednej z naj-
dalszych mgławic, jakie astronomowie zdołali dotąd zaob-
serwować na niebie, a więc najbardziej od nas odległego
układu stwierdzonych ciał niebieskich, wymaga nie wiele
więcej czasu, by do nas dojść, bo 150 milionów lat.

Średnica elektronu nie jest znana. Jest ona w każdym
razie rzędu miliardowych części mikrona (***), tj. tak mała,
że gdyby ją powiększyć do wymiarów milimetra, to milimetr
trzeba by w tej naszej skali przedstawić jako miliony kilo-
metrów, a więc rzędu wielkości średnicy słońca!

*) $1,601 \cdot 10^{-19}$ — Kulomb, przypominamy, jest to ilość elektryczno-
ści, jaką w ciągu sekundy przynosi prąd o natężeniu jednego ampera.

**) $9,52 \cdot 10^{12}$ km.

***) W świetle fizyki atomowej jest sprawą mocno wątpliwą, czy wo-
góle pytanie o średnicy elektronu ma jakiś sens. Dziś można powiedzieć
tylko, że energia elektronu mieści się — w przeważnej swej części —
w kuli o promieniu kilku miliardowych części mikronu. Niektórzy fizycy,
jak np. *Eddington* posuwają się nawet tak daleko, że wogóle traktują
elektron jako punkt materialny, nie przypisując mu więc żadnych wymia-
rów, a to dla podkreślenia, że pojęcie przestrzeni takie, jak je stosujemy
w dostępnym naszym zmysłem świecie, nie znajduje zastosowania w
świecie wewnątrz-atomowym.

Niektórzy fizycy zastanawiali się, czy elektron ma wogóle masę w ścisłym tego słowa znaczeniu.

Jak wynika z praw fizyki, ciało naładowane elektrycznie ma bezwładność przeciwko siłom, które dążą do zmiany jego położenia, większą, niż ciało elektrycznie obojętne. Wszystko dzieje się więc tak, jak gdyby ładunek elektryczny, jaki dane ciało otrzymało, zwiększył jego masę o pewną wielkość, zależną zarówno od ładunku elektrycznego, jak i od promienia ciała (które dla prostoty przyjmujemy zwykle jako kulę).

Porównując więc ładunek elektryczny elektronu z jego średnicą, niektórzy fizycy przyjmują, że cała masa elektronu jest pochodzenia elektrycznego.

Czy jednak rozróżnienie to wogóle ma sens? Trudno powiedzieć. Przecież masa i energia to w gruncie rzeczy jedno i to samo.

Jeżeli od elektronu w stanie spoczynku przejdziemy do elektronu, będącego w ruchu, to zobaczymy rzecz jeszcze ciekawszą. Strumienie elektronów, które przecież są szybko biegnącymi cząsteczkami materii, zachowują się tak, jak gdyby równocześnie były falą o własnościach zbliżonych do fali świetlnej. Możemy więc obserwować zarówno uginanie się, jak i interferencję „fal elektronowych”, co wielokrotnie zostało wykazane doświadczalnie. Rzecz ta nie godzi się co prawda zupełnie z obrazem elektronu, jako kulki materialnej, teoria matematyczna jednak te cząsteczkowe i falowe własności elektronu doskonale godzi ze sobą.

Nie jest to bynajmniej tylko jakaś matematyczna teoria, wymyślona przez miłośników pięknie na papierze wyglądających równań wyższej matematyki. Że tak jest istotnie, możemy bowiem przekonać się na własne oczy, jak to widać na rysunku 8, przedstawiającym strumień elektronów po jego przejściu przez cienką płytkę glinową (alumiiniową).

Falowe właściwości strumienia elektronów wykorzystano dziś również i praktycznie, budując mikroskopy elektronowe, dające powiększenia przeszło 100 razy większe, niż najczulsze mikroskopy optyczne, a więc ułatwiające nam bardzo znacznie poznanie świata bardzo małych tworów.

Falowe własności biegnącego elektronu wydają się na pierwszy rzut oka niezmiernie dziwne. Że jakiś niematerialny foton może być równocześnie cząsteczką i falą, to z tym jakoś możemy się łatwiej pogodzić. Ale żeby materialne cząsteczki mogły mieć, gdy poruszają się szybko, również i własności

falowe, wywołując np. zjawiska interferencji, to istotnie wykracza poza granice naszej wyobraźni.

Skoro jednak wchodzimy w świat mikrofizyki, jesteśmy jak Alicja w krainie cudów. Niczemu dziwić się nam nie wolno. I to dopiero początek — dziwów będzie więcej; na tym bowiem nie kończą się własności elektronu.

Elektron jest bowiem ponadto jeszcze jak gdyby małym magnesem o bardzo dużej sile. Można go więc z tego punktu widzenia przedstawić w postaci strzałki, wskazującej kierunek osi, łączącej oba bieguny magnesu ze sobą.

Dość obrazowym wytłumaczeniem tych magnetycznych własności elektronu, to założenie, że elektron obraca się bardzo szybko dokoła swej osi. Wiemy, że gdyby naelektryzowana kulka obracała się bardzo szybko, to miałaby zupełnie podobne własności magnetyczne. Tym nie mniej, obraz ten jest tylko przybliżony i w świetle założeń nowoczesnej fizyki atomowej nie da się w pełni utrzymać. W każdym jednak razie magnetyczne właściwości elektronu są bardzo pomocne dla zrozumienia własności chemicznych atomów, gdyż siły wynikające z tych magnetycznych własności elektronów są dużo większe od zwykłych elektrostatycznych sił przyciągania i odpychania.

Ale na tym jeszcze nie koniec owych dziwów elektronu. Przejdźmy obecnie do omówienia jego własności najciekawszych, które — choć nie konieczne dla zrozumienia istoty zjawisk, związanych z energią atomową — pozwolą nam jednak zajrzeć niedyskretnym okiem w najgłębsze zasady, rządzące tym małym, a jednak podstawowym światem atomowym.

Pierwszą z tych własności, nie tylko elektronu, ale wogóle całej mikrofizyki, to t.zw. prawo nieokreśloności *Bohra-Heisenberga*, które tak zasadniczo zmieniło nasz pogląd na granice dostępne poznaniu człowieka.

Wedle dawnych, klasycznych pojęć fizyki, mieliśmy prawo sądzić, że w miarę doskonalenia naszych metod badawczych i naszych instrumentów, wiadomości nasze o otaczającym nas świecie będą coraz doskonalsze i że w ten sposób nasze możliwości poznawcze nie mają granic. Tymczasem dziś wiemy (a wynika to w sposób ścisły z podstawowych założeń nowoczesnej fizyki), że granica taka istnieje i że tkwi ona głęboko w samej istocie zjawisk. Granicę tę określa właśnie prawo nieokreśloności. Ażeby je zrozumieć, zajmijmy się pytaniem, na czym polega istota każdego doświadczenia fizycznego.

Jasnym jest, że chcąc uzyskać jakąś wiadomość o pewnej elementarnej cząsteczce, muszę wkroczyć moimi przyrządami w jej świat; ta moja

interwencja wywołuje tym samym pewne zaburzenia w dotychczasowym zachowaniu się cząsteczki. Im dokładniejsze chcę mieć dane, tym głębsza musi być moja interwencja, tym silniejsze więc musi wywołać zaburzenia w badanym układzie. W rezultacie więc istnieje, jak powiada jeden z twórców nowoczesnej mechaniki atomowej, *Dirac*, granica naszych możliwości obserwacyjnych i małości zaburzenia, wywołanego przez naszą obserwację — granica, która leży w samej naturze i której nigdy nie da się przekroczyć, bez względu na udoskonalenie techniki doświadczalnej, czy zwiększenie zręczności obserwatora.

Jeżeli więc obserwator chce uzyskać jakąś wiadomość o wybranym przez siebie elektronie (który w tym wypadku przedstawia mu się w postaci malej, a szybko biegnącej cząsteczki), to może on bardzo dokładnie zmierzyć jego położenie, ale wtedy musi pogodzić się z tym, że szybkość jego zmierzy z dużym błędem. Gdyby na odwrót chciał dokładnie znać jego szybkość, musi zrezygnować z dokładnego poznania jego położenia. « Możemy — pisze *Eddington* — ustalić położenie elektronu z dokładnością 0.001 mm i równocześnie jego szybkość z przybliżeniem 1 km/sek, lub... położenie elektronu do 0,00001 mm, lecz wtedy szybkość tylko do 100 km/sek ».

Z prawa nieokreśloności wynikają dalsze własności elektronu, może bardziej jeszcze nieoczekiwane.

Weźmy (rys. 9) dwa elektrony, które zderzają się ze sobą. Przed ich zetknięciem się, możemy każdy z nich nazwać. Niech prawy z nich nazywa się *A*, a lewy *B*. Po zderzeniu się pójdą one w różne strony; jeden w prawo, drugi w lewo — ale który? I tu zaczyna się rzecz dla ludzkich naszych pojęć wręcz nieprawdopodobna. Otóż nie tylko, że na pytanie to nie możemy odpowiedzieć — co samo w sobie nie byłoby znów tak dziwnym, ale ponadto — i to właśnie jest istotne — pytanie to wogóle nie ma sensu.

Położenie przypomina nam nieco znaną nowelę Marka Twaina o dwu bliźniakach, z których jeden mówił swemu przyjacielowi: « Było nas dwóch; byliśmy bardzo do siebie podobni. Za dzieciństwa naszego jeden z nas utonął i dotąd nie wiadomo, czy to mój brat utonął, czy też ja. Powiem ci nawet na ucho — ciągle mi się wydaje, że to ja utonąłem, a żyje mój brat ».

Podobnie po zderzeniu się i po wyjściu z t.zw. « strefy nieokreśloności » elektron, oznaczony na rysunku przez « *A* albo *B* » nie tylko, że nie będzie « wiedział », czy przed tym był on elektronem *A*, czy też elektronem *B*, lecz ponadto nie ma i nigdy nie będzie miał żadnych danych, które by mu wątpliwości te pozwoliły rozstrzygnąć. Prostu w tej sferze nieokreśloności oba elektrony straciły swą indywidualność.

Może się to wydawać mocno « nie z tego świata », ale jesteśmy przecież « w krainie cudów ».

Idźmy krok dalej. Na skutek omówionego poprzednio statystycznego

charakteru praw, rządzących światem wewnątrz-atomowym, jeżeli mamy pewien, jeden, określony elektron, to nie możemy zupełnie nic powiedzieć o jego losie.

Jeżeli np. elektron krąży dokoła jądra atomowego (weźmy na chwilę obraz elektronu, jako małego pocisku), to choć byśmy najdokładniej znali w pewnej chwili jego położenie i szybkość (a to jest niemożliwe), to i tak nie moglibyśmy wogóle określić, gdzie za sekundę będzie ten elektron.

Świat mikrofizyki zachowuje się tu więc zupełnie inaczej, niż dotąd przez człowieka badany świat makrofizyczny.

Jeżeli bowiem wystrzelę z lufy pocisk, to — znając początkowe elementy jego ruchu, siły nań działające, prawa oporu powietrza i t.p. — mogę z całą dokładnością określić jego położenie i szybkość za 1 sekundę, za sekund 17, czy też 34.

Z elektronem jednak sprawa przedstawia się inaczej i co więcej — na gruncie nowoczesnej mechaniki kwantowej, tj. praw rządzących ruchami elementarnych cząstek materii — wogóle pytanie, gdzie w danej chwili znajduje się elektron, nie ma sensu

Ażebym zrozumieć, dlaczego tak jest, wprowadzimy nowe pojęcie, podstawowe dziś w mikrofizyce, pojęcie «fali prawdopodobieństwa».

Dla wyjaśnienia, czym jest ta tajemnicza fala, zastosujemy następujące porównanie (rys. 10): umieścimy czołg w punkcie A ; niech czołg ten strzela z dwu karabinów maszynowych, umieszczonych po obu jego bokach. Znając prawa rozrzutu możemy powiedzieć, że w pewnym małym polu B istnieje określone *prawdopodobieństwo trafienia* np. 0,05 *). Znaczy to, że jeżeli karabin maszynowy da 10000 strzałów, to około 500 z nich padnie w pole B . W innym polu, polu C , prawdopodobieństwo trafienia będzie mniejsze i wyniesie np. tylko 0,004.

Dla każdego więc małego pola możemy w podobny sposób ustalić jakąś liczbę, określającą, jaki procent wystrzelonych przez dany karabin maszynowy pocisków prawdopodobnie trafi w dane pole.

Niech teraz czołg, zamiast stać na miejscu, porusza się po kole o promieniu, dajmy na to, 2 km. Jasnym jest, że prawdopodobieństwo trafienia w kwadrat B będzie inne w wypadku, gdy czołg będzie w A , inne zaś, gdy będzie w A_1 . Ponieważ jednak czołg stale krąży po kole K , więc po pewnym czasie znajdzie się on znów w A i prawdopodobieństwo trafienia w B przyjmie z powrotem wartość pierwotną... W ten sposób zmieniać się ono będzie okresowo, rosnąc, malejąc, znów rosnąc, zupełnie jak fala morska, przechodząca przez pewien punkt oznaczony np. przez

*) Ściśle biorąc, jeżeli przez dB oznaczmy powierzchnię pola B , a przez p «prawdopodobieństwo trafienia» w punkcie B , to prawdopodobny ułamek strzałów, jakie trafią w pole B (tj. stosunek ilości strzałów, które trafią, do ilości strzałów oddanych), wyniesie: $p \cdot dB$.

boję na morzu. Możemy więc powiedzieć, że przez małe pole B przechodzi pewna *fala prawdopodobieństwa*.

Zupełnie podobnie przedstawiać się będzie fala prawdopodobieństwa i w wypadku elektronu. Jak z praw mechaniki kwantowej wynika, w stosunku do pojedynczego elektronu nie można — jak to zaznaczyliśmy już poprzednio — odpowiedzieć na pytanie, gdzie znajdzie się on w pewnej chwili (i pytanie to ściśle biorąc z punktu widzenia fizyki atomowej nie ma żadnego sensu). Jedyna odpowiedź, jaką dać możemy, to określenie, jakie jest *prawdopodobieństwo*, że w pewnej chwili elektron znajduje się w danym punkcie przestrzeni otaczającej jądro atomowe i jak prawdopodobieństwo to zmienia się w czasie. I tą właśnie jego zmienność nazywamy *falą prawdopodobieństwa*.

Fizyka atomowa nic więc nie mówi o *położeniu i ruchu* elektronu, lecz jedynie o jego fali prawdopodobieństwa.

Wygląd dwu takich fal prawdopodobieństwa — w wypadku elektronu atomu wodoru w stanie normalnym i w stanach pobudzenia — podaje rys. II.

Rysunek ten przedstawia falę prawdopodobieństwa (a raczej grzbiet fal czasowych), w zależności od odległości elektronu od jądra. Zespół tych fal w przestrzeni tworzy t.zw. *mgłę prawdopodobieństwa* dokoła atomu, przedstawioną graficznie na rys. 12 dla elektronu wodoru w stanie normalnym. Na rysunku tym stopień zaczerwienienia odpowiada wielkości prawdopodobieństwa. Widać z niego, że — ściśle biorąc — atom nie jest kulą o określonych wymiarach, skoro na każdej odległości od jądra istnieje pewne — małe co prawda — prawdopodobieństwo, że tam właśnie znajdzie się elektron. Lecz prawdopodobieństwo to silnie maleje w miarę, jak oddalamy się od jądra, wynosząc np. dla odległości większej niż trzy promienie pierścienia K, zaledwo 0,062.

Biorąc więc jako średnicę atomu wodoru średnicę koła K, nie popełniamy wielkiego błędu.

Zreasumujmy to wszystko, cośmy dotąd powiedzieli o fali prawdopodobieństwa. Jeżeli rozpatrujemy jeden elektron, to właściwie nic o nim nie wiemy. Jeżeli jednak mamy ich wiele, np. miliard elektronów (związanych np. z miliardem jąder wodoru), to znając wygląd fali prawdopodobieństwa możemy śmiało twierdzić, że np. w określonym czasie na odległości r od jądra (rys. II) elektronów będzie 10 razy więcej, niż na odległości a . Podobnie brzmiących twierdzeń możemy oczywiście wygłosić znacznie więcej, wszystkie one jednak mówić będą jedynie o zachowaniu się wielkiej ilości elektronów, nigdy zaś o jednym z nich.

W ten sposób fizyka nowoczesna nie studiuje ruchów i położów cząsteczek materialnych, zwanych elektronami, a jedynie prawa rządzące ich falami prawdopodobieństwa.

Elektron więc z tego punktu widzenia zaczyna tracić swe cechy czą-

steczki materialnej i staje się, jak to mówi znakomity fizyk *Eddington*, poprostu falą prawdopodobieństwa.

Jak więc stwierdziliśmy poprzednio, na pytanie, gdzie elektron naprawdę jest, nikt odpowiedzieć nie jest w stanie; zresztą pytanie takie wogóle nie ma sensu. Elektron bowiem, to właśnie ta fala prawdopodobieństwa — i nic ponadto.

Pociąga to jednak za sobą i dalsze ważne konsekwencje. Otóż przedstawienie fali prawdopodobieństwa najprostszego układu atomowego (złożonego przecież co najmniej z kilkunastu, jeśli nie znacznie większej ilości elektronów) wymaga przestrzeni wielu dziesiątek czy setek wymiarów; to też opis jakiegokolwiek, najbardziej nawet elementarnego zjawiska w mikrofizyce nie da się w żaden sposób zamknąć w ciasne ramy czasu i przestrzeni.

I to właśnie jest może największą rewolucją w nauce fizycznej od czasu jej powstania.

P o z i t r o n

Prócz elektronu istnieje jeszcze druga, bliźniaczo do niego podobna elementarna cząsteczka materii, *pozytron*, o właściwościach identycznych z właściwościami elektronu, z tą tylko różnicą, że ładunek jej jest dodatni, a nie ujemny.

Zgodnie z przewidywaniami teorii, *pozytron* występuje w stanie wolnym jedynie bardzo rzadko i żywot jego jest dość krótki (*).

Wykrycie *pozytronu* pozwoliło nam po raz pierwszy na oglądanie własnymi oczami dotąd tylko na seansach spirytystycznych „demonstrowanego” cudu materializacji i dematerializacji. W tym wypadku chodzi o zamianę energii na materię i na odwrót materii na energię.

Tym cudotwórczym instrumentem, który pozwala nam ujrzeć te zjawiska na własne oczy, to tzw. kamera *Wilsona*.

By zrozumieć jej działanie, przypomnijmy sobie własności pary przesyconej. Jak wiadomo, para taka, gdy obniżamy jej temperaturę poniżej stanu nasycenia, nie przemienia się od razu w wodę, lecz dłuższy nawet czas może pozostać w sta-

*) Rzędu dziesięciotysięcznej części sekundu, w powietrzu, pod ciśnieniem jednej atmosfery.

nie przesyconym, aż znajdzie się jakiś bodziec zewnętrzny, który spowoduje jej skroplenie.

Takim bodźcem, często np. stosowanym przy oczyszczaniu mgły na lotniskach, to punktowe ładunki elektryczne, dokoła których para się kondensuje, przemieniając w drobnuteńkie krople rosy, lub — w początkowym stadium — mgły.

Jeżeli więc przez naczynie, gdzie znajduje się taka para przebiega cząsteczka o dużej energii, np. bardzo szybko biegnący elektron, to jonizuje on napotkane cząsteczki gazu, a więc tworzy po swej drodze punktowe ładunki elektryczne. Para kondensuje się dokoła tych ładunków i drogę elektronu znacząco widoczna smuga mgły.

Jeżeli przeto napelnimy parą przesyconą odpowiednią komorę, wykonaną z materiału przezroczystego, zaopatrzymy ją następnie w bardzo drobny otwór, by ilość wpadających fotonów lub cząsteczek była minimalna, jeżeli dalej umieścimy kliszę fotograficzną (lub lepiej jeszcze szybko posuwającą się taśmę kinematograficzną), zezwalającą na fotografowanie tego, co się we wnętrzu tej komory dzieje, jeżeli na koniec stworzymy silne pole magnetyczne, by móc obserwować — z odchylenia się biegnących cząsteczek — ich ładunek elektryczny (a z zakrzywienia ich toru obliczać ich masę), to będziemy mieli właśnie kamerę Wilsona, jeden z podstawowych instrumentów badawczych mikrofizyki.

Jeżeli teraz w okienku takiej kamery ustawimy cienką płytkę glinową (aluminium), a przed nią umieścimy jakieś ciało promieniotwórcze (radioaktywne), wysyłające promienie gamma bardzo krótkie (o dużej energii) —*) to będziemy mogli zaobserwować ciekawe zjawisko (rys. 13); od czasu do czasu pojawią się w komorze doskonale widoczne bliźniaki: elektron — pozytron, widoczne na filmie, na skutek działania pola magnetycznego, jako dwa łuki odchylone w przeciwnie strony.

Foton gamma, czyli czysta energia, zmaterializował się więc, przemieniając się w masę elektronu i pozytronu, a nad-

*) Promienie *gamma* zawierają się w granicach fal długości 5 do 25 dziesięciotysięcznych części milimikrona ($5 \cdot 10^{-11}$ do $2,5 \cdot 10^{-10}$ cm); energia ich odpowiada więc mniejwięcej masie jednego do pięciu elektronów.

bardziej skomplikowanej (rys. 15). Dokładna analiza matematyczna wykazała przy tym, że za wyjątkiem pierścienia K , który zawierać może tylko jedno koło (*), pierścień L składa się z dwu różnych elips, pierścień M z trzech, N z czterech i t.p. (**).

Wartości energetyczne „elips” różnią się nieco pomiędzy sobą tak, że — poza poziomem energetycznym K — każdy z następnych poziomów rozkłada się na kilka poziomów, bliższych co prawda sobie, ale bynajmniej nie identycznych.

Dla odróżnienia więc, na jakim z tych poziomów znajduje się elektron, należy je ponazywać; zastosujemy tu oznaczenia następujące:

poziom K	nazwijmy — 1_0
dwa poziomy pierścienia L	— $2_0, 2_1$
trzy poziomy pierścienia M	— $3_0, 3_1, 3_2$
	i t.d.

Ażeby dalej przestudiować budowę powłoki elektronowej, przypomnijmy sobie, że elektrony mają również i własności magnetyczne.

Jeżeli więc przedstawimy elektron w postaci małej strzałki, której ostrze wskazywać będzie kierunek bieguna północnego magnesu, to jasnym jest, że położenie takiej strzałki na orbicie może być rozmaite. Może ona leżeć w jej płaszczyźnie, być do niej prostopadła, lub wreszcie zawierać z nią dowolny kąt.

Z nieciągłej, kwantowej budowy energii wynika jednak, że kierunki te nie mogą być dowolne, lecz że na każdym pierścieniu, a raczej podpierścieniu, ilość dopuszczalnych kierun-

*) Koło liczymy przy tym jako szczególny wypadek elipsy.

**) Jeżeli pierścieniowi K przypiszemy liczbę 1, pierścieniowi L — liczbę 2 i ogólnie biorąc dowolnemu poziomowi energetycznemu «*liczbę główną*» n . (w spotykanych na ziemi atomach w stanie normalnym n przyjmuje wartość największą 7), to poszczególne «*elipsy*» wyrażać będziemy liczbą l tzw. «*liczbą wtórną*», która może przyjmować wartość od $l=0$ do $l=n-1$. Liczba ta w mechanice kwantowej oznacza moment kątowy elektronu.

ków jest ściśle określona i tym większa, im większa jest „ekscentryczność” elipsy (*).

Wynosi ona więc 1 dla pierścieni $1_0, 2_0, 3_0 \dots$; 3 dla pierścieni $2_1, 3_1, 4_1 \dots$; 5 dla pierścieni $3_2, 4_2, 5_2 \dots$ i t.d. (**).

Wreszcie, w każdym takim położeniu elektron — magnes może mieć swój biegun północny na górze lub na dole, t.j. że każda strzałka, oznaczająca położenie elektronu w przestrzeni, może raz być skierowana do góry, raz na dół.

Stosując początkowo przyjęty obraz elektronu, jako kulki, szybko obracającej się dookoła własnej osi, powiadamy, że elektron posiada raz skręt (w fizyce atomowej stosuje się przeważnie nazwę angielską „spin”) dodatni, drugi raz ujemny (***).

W ten sposób położenie elektronu w stosunku do jądra atomowego jest scharakteryzowane czterema danymi: 1) jego poziomem energetycznym głównym, 2) jego poziomem energetycznym wtórnym, 3) kierunkiem jego osi magnetycznej, 4) jego skrętem (****).

*) T.j. im większa jest liczba l . Jeżeli przez a oznaczymy kąt, jaki płaszczyzna orbity elektronu zawiera z kierunkiem pola magnetycznego, przez m zaś wielkość taką, że

$$\cos a = \frac{m}{l}$$

to m może przyjmować wszystkie wartości całkowite od $-l$ do $+l$, a więc z $l+1$ różnych wartości. Liczbę m nazywamy «liczbę magnetyczną» elektronu.

W mechanice kwantowej zwykle nasze pojęcie przestrzeni nie znajduje już zastosowania, liczba więc « m » ma sens bardziej abstrakcyjny, nie przestając jednak nadal charakteryzować stanu energetycznego elektronu.

**) Jeżeli elektrony znajdują się poza polem magnetycznym, to ich własna magnetyczność nie ma żadnego wpływu na ich stan energetyczny. Jeżeli jednak umieścimy atom w silnym polu magnetycznym, to liczba magnetyczna zmienia nieco wartość energetyczną elektronu i tym samym linie widma atomu rozszczepiają się w tym polu. Jest to t.zw. efekt *Zee-mana*.

***) Stosujemy tu znów liczę s , zwaną «spinem». Może ona przyjmować dwie tylko wartości

$$s = +\frac{1}{2}; s = -\frac{1}{2}$$

****) Ściśle biorąc jego czterema liczbami kwantowymi: n, l, m, s .

TABLICA Nr. 2

Największa dopuszczalna ilość elektronów na poszczególnych pierścieniach

Poziom energetyczny główny	K		L		M			N				O					P					Q						
Wtórny	1 ₀	2 ₀	2 ₁	3 ₀	3 ₁	3 ₂	4 ₀	4 ₁	4 ₂	4 ₃	5 ₀	5 ₁	5 ₂	5 ₃	5 ₄	6 ₀	6 ₁	6 ₂	6 ₃	6 ₄	6 ₅	7 ₀	7 ₁	7 ₂	7 ₃	7 ₄	7 ₅	7 ₆
Ilość kierunków magnetycznych	1	1	3	1	3	5	1	3	5	7	1	3	5	7	9	1	3	5	7	9	11	1	3	5	7	9	11	13
Maksymalna ilość dopuszczalnych elektronów	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	14	18	2	6	10	14	18	22	2	6	10	14	18	22	26
Razem na pierścieniu	2	8		18			32				50					72					98							

x) Dla pierścienia n wynosi ona $2n^2$.

Budowa powłoki elektronowej

5	46	<i>Pallad</i>	<i>Pd</i>	2	8	18	8	10	0		
	47	<i>Srebro</i>	<i>Ag</i>	2	8	18	8	10	1		
	48	<i>Kadm</i>	<i>Cd</i>	2	8	18	18		2		
	49	<i>Ind</i>	<i>In</i>	2	8	18	18		2	1	
	50	<i>Cyna</i>	<i>Sn</i>	2	8	18	18		2	2	
	51	<i>Antymon</i>	<i>Sb</i>	2	8	18	18		2	3	
	52	<i>Tellur</i>	<i>Te</i>	2	8	18	18		2	4	
	53	<i>Jod</i>	<i>J</i>	2	8	18	18		2	5	
	54	<i>Ksenon</i>	<i>X</i>	2	8	18	18		2	6	
	87			2	8	18	32		18		8
	88	<i>Rad</i>	<i>Ra</i>	2	8	18	32		18		8
	89	<i>Aktyń</i>	<i>Ac</i>	2	8	18	32		18		8
	90	<i>Tor</i>	<i>Th</i>	2	8	18	32		18		8
	91	<i>Proaktyn</i>	<i>Pa</i>	2	8	18	32		18		8
	92	<i>Uran</i>	<i>U</i>	2	8	18	32		18		8

Metale ziem rzadkich

Otóż istnieje podstawowe prawo *Pauli'ego*, które mówi, że w jednym i tym samym atomie nie może być dwu elektronów dla których wszystkie te cztery dane charakterystyczne byłyby identyczne (*). Jeżeli więc np. dwa elektrony mają te same poziomy główne i wtórne oraz ten sam kierunek osi magnetycznej, to muszą się różnić skrzętem (spinem); jeżeli na tym samym pierścieniu np. 3₂, ich skrzęt jest ten sam, to ich kierunki osi magnetycznej muszą być różne itp.

Na tej zasadzie łatwo obliczyć ilość elektronów, jaka najwyżej może znajdować się na każdym z pierścieni (**). Podaje ją poniższe zestawienie (tablica 2):

Zasada *Pauli'ego* pozwoli nam zrozumieć podstawy okresowego układu pierwiastków (tablicy *Mendelejewa*; porównaj załączoną tablicę 3).

Najniższy pierścień *K*, mający tylko jeden poziom i tylko jeden możliwy kierunek osi magnetycznej, dopuszcza tylko 2 elektrony. Drugi więc już z kolei atom, hel, zamyka ten pierścień, przy czym dwa jego elektrony siedzą na nim tak mocno, że żadne siły chemiczne nie są w stanie ich wytrącić z tego pierścienia. Hel jest więc gazem szlachetnym, nieczułym na żadne zaloty innych atomów.

Od następnego atomu, litu, zaczyna się kolejne wypełnianie elektronami poziomu 2₀, a gdy on został wypełniony, 2₁, aż wreszcie przy neonie pierścień *L* zostanie wypełniony całkowicie. I te 8 elektronów na dwu bliskich sobie poziomach stanowią również związek niezwykle silny; neon jest więc znów gazem szlachetnym.

Podobnie przedstawia się i sprawa w okresie trzecim, gdzie elektrony wypełniają kolejno poziomy 3₀ i 3₁, aż przy argonie oba te pierścienie zamykają się znów ośmiu elektronami na dwu bliskich pierścieniach. To też argon jest również gazem szlachetnym.

Sprawa zaczyna się dopiero komplikować w okresie czwartym, gdzie wprawdzie zaczyna się wypełniać nie pierścień 3₂, lecz 4₀ i dopiero, gdy pierścień ten został (przy wapniu) wypełniony, rozpoczyna się kolejne wypełnianie elektronami

*) To zn. których wszystkie cztery liczby kwantowe byłyby te same.

**) Dla pierścienia n wynosi ona $2n^2$.

pierścienia 3₂, który zostaje w pełni zajęty przez elektrony dopiero przy miedzi. Od tego momentu więc dopiero może się zacząć normalne wypełnianie pierścieni 4₁ i 4₂, zakończono gazem szlachetnym, kryptonem, z 8 elektronami na dwu pobliskich poziomach.

Sprawa ta powtarza się w okresie piątym, gdzie wprawdzie wypełnia się poziom 5₀, następnie 4₂, a później wreszcie 5₁, podczas gdy poziom 4₃ pozostaje niewypełniony do końca. Podobnie też wygląda sprawa w okresach szóstym i siódmym przy czym — choć w okresie siódmym poczyną się już wypełnianie poziomu 7₀ — poziomy 5₃ i 5₄, oraz 6₃, 6₄ i 6₅ pozostają do końca puste.

Przykład graficzny, ilustrujący (schematycznie) budowę powłoki elektronowej uranu (w postaci poziomów energetycznych) podaje rys. 16.

Budowa powłoki atomowej pozwala nam zrozumieć zarówno regularności, jak i pozorne anomalie tablicy *Mendelejewa*.

O własnościach gazu szlachetnego mówiliśmy już. Zauważmy, że — poza helem, którego elektrony wypełniają zwarcie pierścieni 1₀ — wszystkie następne mają swe elektrony w liczbie ośmiu na dwu bezpośrednio ze sobą sąsiadujących pierścieniach 2₀ 2₁, 3₀ 3₁, 4₀ 4₁, 5₀ 5₁ i 6₀ 6₁. Kombinacja ta jest — jak wykazuje teoria — wyjątkowo silna i nie tylko że sama daje się rozerwać dopiero bardzo potężnymi siłami, ale stanowi ponadto jak gdyby pancierz, doskonale osłaniający elektrony wewnętrzne.

Nie dziw więc, że atomy mające tę samą ilość elektronów zewnętrznych, opartych o ten pancierz, są tak do siebie podobne (jak np. grupy lit, sód, potas, rubid, cez lub beryl, magnez, wapń, stront, bar).

Pierścienie 3₂, 4₂ i 5₂, zawierające 10 elektronów, nie są już tak zwarte, co tłumaczy np. różnicę między podgrupą miedź, srebro, złoto, a lit, sód i t.p.

Jasną jest rzeczą, że atom reaguje na bliską obecność innych atomów jedynie swymi elektronami zewnętrznymi. To też własności chemiczne pewnego pierwiastka wynikają przede wszystkim z układu jego elektronów, najbardziej zewnętrznych. I tak np. grupa chlorowców (fluor, chlor, brom, jod), która ma swych 7 elektronów na pobliskich pierścieniach

2₀ 2₁, 3₀ 3₁, 4₀ 4₁, 5₀ 5₁, musi się nieco różnić swymi własnościami chemicznymi od grupy mangan, mazur, ren, które mają również 7 elektronów, lecz na pierścieniach bardziej od siebie odległych (3₂ 4₀, 4₂ 5₀, 5₂ 6₀). Grupa metali ziem rzadkich (od lantanu do lutecju), które wszystkie mają 3 elektrony na zewnętrznych pierścieniach 5₂ i 6₀, różniąc się pomiędzy sobą jedynie ilością elektronów na pierścieniu wewnętrznym 4₃ (i do tego odizolowanych pancerzem pełnych pierścieni 5₀ i 5₁) — musi mieć własności chemiczne nieomal że identyczne.

Również i szczególna budowa pierwiastków grupy VIII pozwala wytłumaczyć jej odrębne stanowisko w układzie okresowym pierwiastków.

Tym niemniej, im dalej umieszczone są elektrony od jądra, tym mniejsze są siły, wiążące je do atomu; równocześnie zarówno ciężar atomu, jak i całokształt budowy powłoki elektronowej musi mieć swój wpływ na zachowanie się elektronów zewnętrznych. Tym też tłumaczy się, że pierwiastki jednej grupy, choć podobne do siebie, tym niemniej wykazują pomiędzy sobą pewne różnice, pozwalające oddzielić je od siebie metodami chemicznymi.

Jak więc z kilku już powyższych przykładów widać, budowa powłoki elektronowej doskonale tłumaczy własności chemiczne poszczególnych pierwiastków, dzięki czemu chemia nieorganiczna przestała być dziś zbiorem recept kuchennych nieodżałowanej Cwierciakiewiczowej, a stała się nauką, opartą o ścisłe podstawy znajomości budowy poszczególnych atomów.

Siły powiązań chemicznych

Jak widzieliśmy już poprzednio, atomy mające swoje pierścienie zewnętrzne wypełnione małą tylko ilością elektronów, a więc grup I, II i III, a częściowo i IV, mają tendencje do wydzielania elektronów i tworzenia jonów dodatnich (kationów), jak Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Al³⁺, Cr³⁺, Ge⁴⁺. Analogicznie, te atomy, którym na powłoce zewnętrznej brak niewielu elektronów do wypełnienia pierścienia, chętnie elektrony te przylłączają, tworząc jony ujemne (aniony), jak F⁻, Cl⁻, O⁼, S⁼ i tp.

Tak utworzone jony przyciągają się wzajemnie na zasadzie normalnych zasad przyciągania elektrostatycznego i

tym samym tworzą cząsteczki, jak np. H_2O (woda) $CaCl_2$ (dwuchlorek wapnia), $NaCl$ (sól kuchenna) i t.p.

Tego rodzaju związki nazywamy heteropolarnymi (różnobiegunowy *) — heteros po grecku różny, polos — biegun).

Istnieją jednak związki inne, jak np. cząsteczka wodoru H_2 , tlenu O_2 , które nie są zbudowane z jonów i których budowa nie daje się więc wytłumaczyć na zasadzie przyciągania elektrycznego. Fizyka atomowa wyjaśnia takie połączenia atomów, zwane homeopolarnymi (równobiegunowymi — homeos po grecku! równy) magnetycznymi właściwościami elektronów.

Weźmy dla przykładu znów atom wodoru. Jedyne elektron na jego pierścieniu K może mieć skręt (spin) zarówno dodatni, jak i ujemny. Jeżeli oba skrety są jednokierunkowe, to oba atomy wodoru się odpychają i nie mogą wejść ze sobą w związek. Jeżeli jednak są one przeciwne, w grę zaczynają wchodzić siły, związane z magnetycznymi właściwościami elektronów i atomy poczynają się przyciągać, przy czym na bliskich odległościach przyciąganie to jest znacznie mocniejsze, niż przyciąganie elektryczne (**).

Siłami więc, wiążącymi dwa (lub więcej) elektrony w związku homeopolarnym są własności magnetyczne elektronów (**).

Zasada ta tłumaczy nam dobrze i wiele innych własności chemicznych poszczególnych pierwiastków.

*) Tłumaczenie dosłowne. Bardziej odpowiadająca nazwa byłoby równoimienny i różnoimienny.

**) Gdy odległość się jeszcze zmniejsza, przyciąganie zamienia się znów w odpychanie, jak o tym będzie mowa przy omawianiu budowy jądra atomowego. Odległości, gdzie ta przemiana następuje, są rzędu jednej dziesięciomilionowej części milimetra (jednej dziesiątej milimikrona); i to właśnie jest odległość, dzieląca od siebie dwa atomy wodoru w jego cząsteczce.

***) Ścisłej biorąc, są to t.zw. « siły wymiany », o których będzie mowa dalej, przy omawianiu budowy jądra. Siły te mogą jednak wystąpić jedynie wtedy, gdy skrety (spiny) dwu elektronów są przeciwne. W wypadku cząsteczki wodoru « wymiana » ta zachodzi około 100 miliardów (100 000 milionów) razy na sekundę.

W podanym na rysunku 16 schemacie budowy powłoki elektronowej uranu, cztery elektrony pierścienia $6z$ mogą spełnić postulat *Pauli'*ego nie tylko tak, jak to podano na rysunku (tj. dwa o skręcie dodatnim, a dwa o skręcie ujemnym), ale również i wtedy, gdy np. wszystkie one będą skierowane strzałkami do góry, zajmując np. położenie liczb magnetycznych $-3, -1, +1, +3$. W takim więc wypadku uran będzie mógł przyjąć 4 atomy, mające elektrony o skręcie przeciwnym jego elektronom, będzie więc czterowartościowy.

Również i elektrony na pierścieniu $7o$ mogą — przy niewielkiej stosunkowo dostarczonej im energii — przejść na pobliski poziom $7i$, przyjmując wtedy dwie różne liczby magnetyczne, lecz ten sam skręt. Wartościowość pierwiastka powiększy się w tym wypadku jeszcze o dwa (*).

Podobnie przedstawia się sprawa i z innymi pierwiastkami. Fluor np., któremu brak tylko jednego elektronu do pełnego pierścienia L , musi mieć z siedmiu swych elektronów zewnętrznych z konieczności sześć po dwie pary o przeciwnych skrętach (spinach). Wolny magnetycznie elektron ma tylko jeden, a więc może być tylko jednowartościowy.

Chlor natomiast, któremu do pełnego pierścienia M brak aż 11 elektronów, może mieć nawet 7 elektronów o identycznych skrętach, lub też 5, 3 i 1. Może więc być (i istotnie bywa niekiedy) siedmio, pięcio, trzy i jednowartościowy. Z tych samych względów te same wartościowości przyjmują brom i jod.

Tak samo łatwo zrozumieć, dlaczego tlen może być tylko dwuwartościowy, natomiast siarka, selen i tellur występują nie tylko jako dwuwartościowe, ale również i jako cztero i sześciowartościowe.

Znajomość więc budowy powłoki elektronowej pierwiastka pozwala przewidzieć dokładnie wszystkie jego własności chemiczne, a ponadto wykryć szereg jego danych fizycznych, jak np. jego przewodnictwo elektryczne, jego własności magnetyczne, temperaturę wrzenia i tp. Obliczenia te są co-

*) Faktycznie uran występuje w połączeniach jako trzy, cztero pięcio i sześciowartościowy.

prawda niezmiernie zawile, zostały jednak dokonane dla niektórych pierwiastków o stosunkowo prostszej budowie powłoki elektronowej, jak hel, a częściowo lit, beryl, bor i węgiel i dały wyniki zdumiewająco zgodne z danymi doświadczalnymi.

Budowa cząsteczki

Jak już wspomnieliśmy poprzednio, cząsteczka soli składa się z jonu sodu i jonu chloru, które łączą się razem dzięki przyciąganiu elektrycznemu. Ciekawą więc jest rzeczą, jak układają się w przestrzeni jedne jony w stosunku do drugich.

Prześwietlanie cienkich płytek soli kuchennej przy pomocy promieni Röntgena daje nam dziś w zupełności na to odpowiedź i pozwala odtworzyć przestrzenną budowę cząsteczki z dużą dokładnością, podając nie tylko rozłożenie atomów w przestrzeni, ale nawet ich odległości od siebie. To samo tyczy się i innych ciał stałych; istnieją nawet metody, zezwalające na podobne badanie cząsteczek cieczy i gazów.

Nie będziemy wchodzić w zasady i szczegóły tej metody, podamy jedynie jej wyniki.

Otóż budowa soli kuchennej ($Na\ Cl$) przedstawia się tak, jak to w olbrzymim powiększeniu podaje rys. 17.

Jon sodu i jon chloru przeplatają się więc nawzajem w sześcianie tak, że każdy jon chloru otoczony jest jonami sodu i każdy jon sodu jonami chloru.

Kryształ soli o kształcie kostki istnieje więc u samych podstaw budowy tego ciała.

Warto zauważyć, że — właściwie biorąc — nie istnieje „cząsteczka soli” jako zespół dwu połączonych ze sobą atomów chloru i sodu. Atomy te bowiem są występują w cząsteczce zawsze oddzielnie, lecz ich układ przestrzenny jest taki, że w dowolnie małej cząsteczce soli zawsze ilość jonów sodu jest równa ilości jonów chloru.

Sily, działające na zewnętrznych kręgach powłoki elektronowej, nie są bynajmniej zawsze symetryczne, to też nie każda cząsteczka ma budowę tak prostą, jak sól kuchenna.

W cząsteczce wody np. oba atomy wodoru są przytę-

pione do tlenu niesymetrycznie (*), tworząc między sobą kąt 105°. Tak też wygląda i budowa kryształu lodu (rys 18).

Wspominane wyżej metody zezwoliły już dziś zbadać budowę przestrzenną olbrzymiej ilości cząsteczek, od cząsteczek najprostszych, do skomplikowanych cząsteczek — olbrzymów chemii organicznej, zawierających niekiedy ponad 100 000 atomów (**).

Znajomość budowy przestrzennej cząsteczki pozwala na zrozumienie np. jej własności przyłączania do siebie takich czy innych grup atomów (co zachodzi szczególnie często w związkach chemii organicznej), lub też jej zachowania się w określonych warunkach fizycznych.

Cząsteczki są w zasadzie zbudowane niesymetrycznie, a tym samym i ich własności fizyczne również nie są symetryczne. Weźmy jako przykład cząsteczkę stearyny, która zbudowana jest w ten sposób, że na jednym końcu ma grupę COOH , na drugim zaś CH_3 .

Gdy cieniutką warstwę stearyny wylejemy na wodę (rys. 19), to przylegnie ona do wody grupą COOH , która jest przylepna do wody, a podniesie się ku górze drugim końcem z grupą CH_3 , gdyż ta grupa ma tendencję do oddalania się od wody. Następna warstwa ułoży się w ten sposób, że do cząsteczki CH_3 przylgną cząsteczki CH_3 i t.d. Każda więc kolejna warstwa stearyny ma orientację przestrzenną, przeciwną warstwom jej przyległym. Nie jest to wypadek jedy-ny. Podobną warstwową budowę mają również np. i oleje mineralne, co dosłownie tłumaczy ich własności smarne.

Przykładów takich można by cytować bez liku. Wyjaśniają one więc dotąd pozornie niewytłumaczalnych własności poszczególnych ciał.

*) W stosunku do atomu tlenu, nie w stosunku do siebie. Budowę cząsteczki wody podaje schematycznie rys. 20.

**) Ciekawa rzecz, że promienie Röntgena wykazały, iż szereg t.zw. struktur cząsteczek, które długi czas chemicy uważali jedynie za schematyczne przedstawienie sił, wiążących atomy pomiędzy sobą, odpowiada ich rzeczywistej budowie przestrzennej. Tyczy się to np. słynnego « pierścienia benzenowego » *Kelūego*, który okazał się istotnie faktycznym układem atomów węgla w cząsteczce benzenu.

Na zakończenie tego rozdziału należałoby się zapytać, skąd się bierze energia chemiczna, tj. energia, jakiej dostarczają nam procesy chemiczne takie, jak np. palenie się węgla, czy też wybuch benzyny w silniku.

Wyjaśnimy to na przykładzie tworzenia się cząsteczki pary wodnej z atomu tlenu i dwu atomów wodoru tj. wybuchu t.zw. gazu piorunującego. Jak wiadomo, jest to jedna z najbardziej energetycznych reakcji chemicznych.

Okazuje to rys 20 (*), przedstawiający (schematycznie) z jednej strony jedną cząsteczkę tlenu O_2 i dwie cząsteczki wodoru H_2 , z drugiej zaś utworzone z nich dwie cząsteczki wody (H_2O). Jak na na rysunku dobrze widać, w cząsteczce wody elektrony przybliżyły się do jąder atomowych w stosunku do położenia, jakie zajmowały w cząsteczkach tlenu i wodoru. Tym samym więc wydzielily one energię chemiczną (w tym wypadku energię spalania się wodoru), podobnie jak opadająca woda, przybliżając się do środka ziemi (rys. 21), dostarcza energii hydraulicznej. Tylko siły wchodzące tu w grę są znacznie większe.

Zauważmy jednak, że wszystko to dzieje się w powłoce elektronowej, a więc na dalekich peryferiach atomu! Nie dziw więc, że siły, tkwiące w jego jądrze, są milion do stu milionów razy większe, niż te, które działają na powierzchni atomu i które dotąd — w postaci energii chemicznej — zasilały wszystkie nieomal nasze silniki.

* Rysunek ten wykonany jest w powiększeniu około 125 milionów tj. takim, że główka szpilki o średnicy 1 mm miałaby średnicę od Warszawy do Piotrkowa!

G		VIII			O
Typowe z wodoru z tlenem		MO ₄	MO ₂	MO	
O K R E S Y					2.He Hel 4,00
					10.Ne Neon 20,18
					18.Ar Argon 39,94
	Br om 92	26.Fe Żelazo 55,85	27.Co Kobalt 58,94	28.Ni Nikiel 58,69	36.Kr Krypton 83,7
	J 92	44.Ru Ruten 101,7	45.Rh Rod 102,91	46.Pd Pallad 106,7	54.X Ksenon 131,3
		76.Os Osm 190,2	77.Ir Irid 193,1	78.Pt Platyna 195,23	86.Rn Radon 222

60 Nd — Neodym —
— Gadolin — 156,9;
— 167,2; — 69 Tu —

sa
ze
ip.
ra
ła,
by
n),
m,
ro-
to
to,
ści
gu,
zu.
tó-
ły
ej,
ny
ięc
zta
vy-

Znane izotopy poszczególnych pierwiastków

<i>L.</i> <i>atomowa</i>	<i>Nazwa</i>	<i>Symbol</i> <i>chemiczny</i>	<i>Ciężar atomowy</i>
1	<i>Wodór</i>	<i>H</i>	1, 2, 3
2	<i>Hel</i>	<i>He</i>	3, 4, 5, 6
3	<i>Lit</i>	<i>Li</i>	6, 7
4	<i>Beryl</i>	<i>Be</i>	8, 9, 10 ^x
5	<i>Bor</i>	<i>B</i>	9, ^x 10, 11
6	<i>Węgiel</i>	<i>C</i>	11, ^x 12, 13, 14 ^x
7	<i>Azot</i>	<i>N</i>	13, ^x 14, 15
8	<i>Tlen</i>	<i>O</i>	15, ^x 16, 17, 18
9	<i>Fluor</i>	<i>F</i>	17, ^x 19
10	<i>Neon</i>	<i>Ne</i>	20, 21, 22 ^x , 23 ^x
11	<i>Sód</i>	<i>Na</i>	22, ^x 23, 24 ^x
12	<i>Magnez</i>	<i>Mg</i>	24, 25, 26, 27 ^x
13	<i>Glin</i>	<i>Al</i>	26, ^x 27, 28 ^x
14	<i>Krzem</i>	<i>Si</i>	27, ^x 28, 29, 30, 31 ^x
15	<i>Fosfor</i>	<i>P</i>	30, ^x 31, 32 ^x
16	<i>Siarka</i>	<i>S</i>	32, 33, 34
17	<i>Chlor</i>	<i>Cl</i>	34, ^x 35, 37
18	<i>Argon</i>	<i>Ar</i>	36, 37, 38, 40
19	<i>Potas</i>	<i>K</i>	39, 40, ^x 41, 42 ^x
20	<i>Wapń</i>	<i>Ca</i>	40, 42, 43, 44, 46, 48
21	<i>Skand</i>	<i>Sc</i>	45
22	<i>Tytan</i>	<i>Ti</i>	46, 47, 48, 49, 50
23	<i>Wanad</i>	<i>V</i>	51, 52 ^x
24	<i>Chrom</i>	<i>Cr</i>	50, 52, 53, 54
25	<i>Mangan</i>	<i>Mn</i>	55, 56 ^x
26	<i>Żelazo</i>	<i>Fe</i>	54, 56, 57, 58
27	<i>Kobalt</i>	<i>Co</i>	57, 59
28	<i>Nikiel</i>	<i>Ni</i>	56, ^x 58, 60, 61, 62, 64
29	<i>Miedź</i>	<i>Cu</i>	63, 64, ^x 65, 66 ^x
30	<i>Cynk</i>	<i>Zn</i>	64, 65, ^x 66, 67, 68, 70
31	<i>Gal</i>	<i>Ga</i>	69, 70, ^x 71, 72 ^x
32	<i>German</i>	<i>Ge</i>	70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77
33	<i>Arsen</i>	<i>As</i>	75, 76 ^x
34	<i>Selen</i>	<i>Se</i>	74, 76, 77, 78, 80, 82
35	<i>Brom</i>	<i>Br</i>	79, 80, ^x 81, 82 ^x
36	<i>Krypton</i>	<i>Kr</i>	78, 80, 82, 83, 84, 85, ^x 86
37	<i>Rubid</i>	<i>Rb</i>	85, 87 ^x
38	<i>Stront</i>	<i>Sr</i>	84, 86, 87, 88

<i>L.</i> <i>atomowa</i>	<i>Nazwa</i>	<i>Symbol</i> <i>chemiczny</i>	<i>Ciężar atomowy</i>
39	<i>Ytr</i>	<i>Y</i>	89
40	<i>Cyrkon</i>	<i>Zr</i>	90, 91, 92, 93, ^x 94, 95 ^x 96
41	<i>Niob</i>	<i>Nb</i>	93
42	<i>Molibden</i>	<i>Mo</i>	92, 94, 95, 96, 97, 98, 100
43	<i>Mazur</i>	<i>Ma</i>	?
44	<i>Ruten</i>	<i>Ru</i>	96, 98, 99, 100, 101, 102, 104
45	<i>Rod</i>	<i>Rh</i>	101, 103
46	<i>Pallad</i>	<i>Pd</i>	102, 104, 105, 106, 107, ^x 108, 110
47	<i>Srebro</i>	<i>Ag</i>	107, 108, 109
48	<i>Kadm</i>	<i>Cd</i>	106, 108, 110, 111, 112, 113 114, 115, 116
49	<i>Ind</i>	<i>In</i>	113, 115
50	<i>Cyna</i>	<i>Sn</i>	112, 114 115, 116, 117, 118, 119, 120
	<i>Antymon</i>	<i>Sb</i>	121, 122, 124
51			121, 122, ^x 123
52	<i>Tellur</i>	<i>Te</i>	122, 123, 124, 125, 126, 128, 130
53	<i>Jod</i>	<i>J</i>	127, 128 ^x
54	<i>Ksenon</i>	<i>X</i>	124, 126, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 136
	<i>Cez</i>	<i>Cs</i>	133
55			130, 132, 134, 135, 136, 137, 138
56	<i>Bar</i>	<i>Ba</i>	139
57	<i>Lantan</i>	<i>La</i>	136, 138, 140, 142
58	<i>Cer</i>	<i>Ce</i>	141, 142 ^x
59	<i>Prazeodym</i>	<i>Pr</i>	142, 143, 144 145, 146, 148, 150
60	<i>Nodym</i>	<i>Nd</i>	?
61	<i>Illin</i>	<i>Il</i>	144, 147, 148, ^x 149, 150, 152 154
62	<i>Samar</i>	<i>Sm</i>	150, 151, 153
63	<i>Europ</i>	<i>Eu</i>	152, 154, 155, 156, 157, 153, 160
64	<i>Gadolin</i>	<i>Gd</i>	159
65	<i>Terb</i>	<i>Tb</i>	158, 161, 162, 163, 164, 165 ^x
66	<i>Dysproz</i>	<i>Dy</i>	163
67	<i>Holm</i>	<i>Ho</i>	162, 164, 165, 166, 167, 168, 170
68	<i>Erb</i>	<i>Er</i>	169
69	<i>Tul</i>	<i>Tu</i>	168, 170, 171, 172 173, 174, 176
70	<i>Yterb</i>	<i>Yb</i>	175, 176 ^x
71	<i>Lutec</i>	<i>Lu</i>	174, 175, 176, 177, 178, 179, 180
72	<i>Hafn</i>	<i>Hf</i>	181
73	<i>Tantal</i>	<i>Ta</i>	180, 182, 183, 184, 186
74	<i>Wolfram</i>	<i>W</i>	185, 187
75	<i>Ren</i>	<i>Re</i>	

<i>L</i> <i>atnrowa</i>	<i>Nazwa</i>	<i>Symbol</i> <i>chemiczny</i>	<i>Ciężar atomowy</i>
76	<i>Osm</i>	<i>Os</i>	184, 186, 187, 188, 189, 190, 192
77	<i>Irya</i>	<i>Ir</i>	191, 193
78	<i>Platyna</i>	<i>Pt</i>	192, 194, 195, 196, 198
79	<i>Złoto</i>	<i>Au</i>	197, 198 [×]
80	<i>Rtęć</i>	<i>Hg</i>	195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204
81	<i>Tal</i>	<i>Tl</i>	203, 204, 205, 206, 207, [×] 208, [×] 209, 210 [×]
82	<i>Ołów</i>	<i>Pb</i>	203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, [×] 211, 212, 214
83	<i>Bizmut</i>	<i>Bi</i>	209, 210, 211, [×] 212, [×] 214 [×]
84	<i>Polon</i>	<i>Po</i>	210, [×] 211, [×] 212, [×] 214, [×] 215, [×] 216, [×] 218 [×]
85	?	?	?
86	<i>Radon</i>	<i>Rn</i>	219, [×] 220, [×] 221, [×] 222, [×] 224 [×]
87	?	?	?
88	<i>Rad</i>	<i>Ra</i>	223, [×] 224, [×] 226, [×] 228 [×]
89	<i>Aktin</i>	<i>Ac</i>	227, 228 [×]
90	<i>Tor</i> ^{xx}	<i>Th</i>	227, 228, 230, [×] 231, [×] 232, [×] 234
91	<i>Proaktyn</i>	<i>Pa</i>	231, [×] 233, 234 [×]
92	<i>Uran</i>	<i>U</i>	234, 235, 237, [×] 238, [×] 239 [×]
93	<i>Neptun</i> ^{xx})	<i>Np</i>	238, [×] 239 [×]
94	<i>Pluton</i> ^{xx})	<i>Pu</i>	238, [×] 239 [×]

Uwagi: Tłusty druk oznacza, że atom występuje w przyrodzie w ilości co najmniej 10% ilości danego pierwiastka.

^x) atom promieniotwórczy.

^{xx}) Pierwiastki sztucznie **otrzymane**, nie występują na ziemi w stanie naturalnym.

Weźmy dla przykładu dwa jądra atomowe pierwiastka berylu, oba występujące w przyrodzie: ${}^5B^{10}$ złożony z 5 protonów i 5 neutronów oraz ${}^5B^{11}$ z 5 protonów i 6 neutronów (*). Oba te atomy różnią się między sobą ciężarem atomowym, lecz ilość ich protonów, a więc i liczby atomowe są te same; muszą więc mieć te same własności chemiczne i istotnie je mają.

Istnieje przeto w przyrodzie nie jeden, lecz dwa różne atomy berylu (*B*), o identycznych własnościach chemicznych, a więc nie dające się oddzielić metodami chemicznymi, a różniące się jedynie swym ciężarem atomowym. Beryl, jaki spotykamy w przyrodzie i jaki wiele lat chemicy uważali za ciało zupełnie jednolite, jest w istocie mieszaniną tych dwu atomów i dla tego też jego ciężar atomowy wynosi 10,82, a nie jest całą wielokrotną wodoru.

Takie dwa atomy, o tej samej liczbie atomowej (a więc o tych samych własnościach chemicznych), różniące się między sobą jedynie swymi ciężarami atomowymi, nazywamy izotopami (*isos* — równy, *topos* — miejsce) tj. atomami, zajmującymi to samo miejsce w okresowym układzie pierwiastków.

Zjawisko izotopii jest w świecie atomowym regułą, jak o tym świadczy załączona tablica 4, przedstawiająca znane dotąd izotopy poszczególnych pierwiastków. Nie wszystkie z nich występują w przyrodzie; niektóre są dopiero sztucznie wytworzone przez człowieka, inne spotyka się co prawda na ziemi, lecz jedynie w drobnym procencie.

Najbardziej znanym i najciekawszym może izotopem, to t.zw. ciężki wódór, ${}^1H^2$, zwany deuterem i określany często symbolem chemicznym *D*. Występuje on w przyrodzie w niesłychanie drobnych ilościach (woda zwykła zawiera 1/6000 część t.zw. „wody ciężkiej” tj. D_2O zamiast H_2O). Jego ciężar atomowy jest dwa razy większy od ciężaru zwykłego wodoru, to też ciężar cząsteczkowy wody ciężkiej, wynoszący $2 \times 2 + 16 = 20$ (zamiast $2 \times 1 + 16 = 18$ wody zwykłej) jest o 11% większy od wody normalnej.

*) Symbol ${}^5B^{10}$ oznacza izotop berylu. Liczba z lewej u dołu jest liczbą atomową, liczba prawa u góry ciężarem atomowym pierwiastka (a raczej — ściśle mówiąc — ilością protonów i neutronów w jądrze).

Ponieważ własności fizyczne ciała zależą od jego ciężaru cząsteczkowego, to też woda ciężka ma nieco odmienne własności od wody zwykłej. Zamarza ona przy temperaturze $+3,8^{\circ}\text{C}$ (zamiast 0° jak woda zwykła), wrze przy $101,42$ (zamiast 100°), największą gęstość osiąga przy $11,6^{\circ}$ (zamiast 4°). Ciekawe jest jej działanie fizjologiczne: bakterie i małe organizmy, a nawet drobne rybki i żabki giną, gdy umieścić je w wodzie ciężkiej!

Tak duże różnice fizyczne między wodą zwykłą a wodą ciężką pozwoliły na oddzielenie wody ciężkiej metodami kolejnej destylacji lub elektrolizy. Był to pierwszy wypadek w dziejach chemii, kiedy to udało się oddzielić dwa izotopy od siebie na skalę przemysłową. Nawiasem należy dodać, że woda ciężka odegrała pewną rolę przy konstrukcji bomby atomowej.

Zjawisko izotopii tłumaczy nam wspomniane w poprzednim rozdziale anomalie tablicy *Mendelejewa*. Owe pary pierwiastków, które zamieniły między sobą miejsce w okresowym układzie pierwiastków (argon - potas, tellur - jod, kobalt - nikiel) są to wszystko mieszaniny izotopów, które jeden przynajmniej z atomów w parze przesunęły swym ciężarem na „niewłaściwe” miejsce.

Zresztą wiemy dziś, że ciężar atomowy jest wskaźnikiem chemicznych własności pierwiastka tylko z grubsza. Cechą ich istotną, to wyłącznie jego liczba atomowa. A ta stoi w luźnym tylko związku z jego ciężarem atomowym.

Siły wiążące

Mówiąc o jądrze atomowym, należy zastanowić się nad tym, jakie to siły wiążą w nim protony i neutrony ze sobą. Napewno nie są to siły natury elektrycznej, skoro neutron jest elektrycznie obojętny, a dwa protony powinny się nawzajem odpychać, a nie przyciągać, skoro oba mają ładunki ujemne.

Pochodzenie tych sił jest więc zupełnie inne. Poznaliśmy je już częściowo, gdy mówiliśmy o połączeniach chemicznych homeopolarnych. Widzieliśmy wtedy, że gdy dwa atomy mają na swych peryferiach elektrony o przeciwnych skrętach (spinach), to powstają między nimi siły, które —

dodajmy tu — nie są pochodzenia magnetycznego, choć wynikają z przeciwieństwa kierunków magnetycznych dwu lub więcej elektronów.

Weźmy dwa takie atomy np. wodoru, będące daleko od siebie. Siły, o których mowa, powodują przyciąganie między tymi dwoma atomami, co prawda wtedy zupełnie nikłe. Gdy więc jeden z tych atomów przybliży się do drugiego (który dla prostoty przyjmijmy za nieruchomy), to wydzieli on energię, podobnie jak energię wydzieli woda, opadająca z poziomu wyższego na niższy. Zapas energii potencjalnej tego atomu maleje więc w miarę, jak atom (rys. 23) z odległości A przybliży się do odległości B .

W tym miejscu jednak siły się odwracają — przyciąganie przemienia się w odpychanie i ażeby atom przesunąć dalej ku C , trzeba pokonać siłę, czyli wykonać pracę. Energia potencjalna przybliżającego się atomu znów wzrasta.

Punkt B jest więc najniższym poziomem energetycznym i zgodnie z ogólnymi prawami fizyki (*) atom zawsze dążyć będzie do tego, by znaleźć się w punkcie B . To też odległość od środka jądra atomowego do B będzie odległością, oddzielającą od siebie dwa atomy wodoru w cząsteczce H_2 .

Przesuwajmy jednak siłą (olbrzymią siłą) nasz atom (lub jakąkolwiek inną cząsteczkę elementarną) dalej. Gdy dojdzie ona do punktu D (rys. 24) (**), to odpychanie zamieni się znów w przyciąganie i cząsteczka znajdzie się wewnątrz — jak to nazywają fizycy — bariery potencjału, uniemożliwiającej jej wymknienie się na zewnątrz.

Widzimy więc, że wewnątrz jądra atomu panują bardzo znaczne siły przyciągania, skutecznie przeciwdziałające jego rozpiciu na części.

Siły te powstają nie tylko między dwoma elektronami o różnych skrętach (spinach), lub między dwoma protonami, czy też dwoma neutronami o skrętach przeciwnych, ale

*) Układ pozostawiony sam sobie zawsze dąży do osiągnięcia najniższego poziomu energetycznego swych składników. Jest to poprostu inaczej sformułowane drugie prawo termodynamiki.

**) Odległości od środka jądra powiększone są na tym rysunku 300 miliardów razy. Gdyby główkę od szpilki powiększyć w tym samym stosunku, to zajęłaby ona przestrzeń nieomal że od ziemi do księżycy.

również i między protonem, a neutronem tj. zawsze wtedy, gdy mamy dwie cząsteczki czymś różniące się od siebie.

Lecz co właściwie jest źródłem tej siły?

I tu znów wchodzimy, jak Alicja w krainę cudów.

Wyobraźmy sobie następującą grę towarzyską: W pokoju na krzesłach siedzą Franek, Janek, Zosia i Marysia (*). Na dane hasło wszyscy zrywają się z krzeseł i jak najszybciej zajmują krzesło drugiego. Na inny sygnał znów biegną oni na nowe miejsca i t.d. Taka „wymiana” odbywa się również i w jądrze atomowym w tempie niesłychanie szybkim, coś ze sto miliardów razy na sekundę (**). Dzięki tej wymianie pozostają właśnie owe potężne siły wiązania dwu elementarnych cząsteczek ze sobą, zwane „siłami wymiany” (***).

W obrazie powyższym można pójść jeszcze krok dalej: zamiast powiedzieć „Franek, Janek, Zosia i Marysia zmieniają swe miejsca” należałoby może powiedzieć raczej „w pewnej chwili Franek staje się Marysią, Marysia Zosią, Zosia Jankiem, Janek Frankiem” — czyli elementarne cząsteczki nie zamieniły się miejscami, lecz przemieniły między sobą swoje cechy charakterystyczne.

Trudno powiedzieć, który z tych obrazów jest słuszniejszy, ostatni z nich jednak pozwoli nam nieco bliżej zrozumieć istotę tej wymiany.

Jak wiemy, materia to tylko skondensowana forma energii. Znamy zaś w fizyce wypadki takiego okresowego przechodzenia energii z jednego miejsca w drugie. Zachodzą one np. w wypadku, gdy dwa wahadła zawiesimy wspólnie na poprzeczce nie całkowicie sztywnej. Wtedy obserwujemy, jak okresowo jedno wahadło wykonuje coraz większe wychylenia, natomiast ruch drugiego nieomal zacicha, następ-

*) Ograniczmy się tu do 4 osób, tj. do jądra helu, He^4 , złożonego z dwu protonów i dwu neutronów.

**) Z omówionego w rozdziale II prawa nieokreśloności wynika, że wymiana taka może mieć miejsce jedynie wtedy, gdy obie wymieniające się cząsteczki mają jakieś cechy je odróżniające (np. skręt różny, lub odmienny ładunek elektryczny). Gdyby bowiem były identyczne, to we wnętrzu atomu nie moglibyśmy ich rozróżnić między sobą, nie mogłaby więc zaistnieć wymiana pomiędzy nimi.

***) Literatura angielska stosuje również nazwę „siły fizyczne”.

nie na odwrót pierwsze wahadło zacicha, a drugie poczyną się kołysać coraz energiczniej. Historia ta powtarza się okresowo w ściśle określonym czasie i okresowo też energia kinetyczna ruchu wahadłowego przechodzi z jednego wahadła na drugie.

Coś podobnego dzieje się i z siłami wymiany. Po prostu energia zawarta w jednej cząsteczce elementarnej przechodzi okresowo na cząsteczkę drugą, podobną swą masą, lecz różniącą się jedynie jakąś cechą charakterystyczną (skręt lub ładunek elektryczny) — poczem znów wraca na cząsteczkę poprzednią i tak w kółko, miliardy razy na sekundę.

Bariera potencjału

Jak już wspomnieliśmy wyżej, siły, łączące protony i neutrony w jądrze atomowym, przedzielają te cząsteczki od otaczającego je świata barierą potencjału, zabraniającą z jednej strony cząsteczkom jądra opuścić je, z drugiej zaś cząsteczkom zewnętrznym przeniknąć do jego wnętrza.

Jest to bariera bardzo potężna. Ażeby móc ją przezwyciężyć, musiałby proton albo neutron mieć energię kinetyczną równą tej, jaką by posiadały przy temperaturze 100 do 150 miliardów stopni tj. musiałyby biec z szybkością rzędu 40000 do 50000 km/sek. Ażeby jeden gram neutronów mógł przekroczyć tę barierę, trzeba by mu dostarczyć energii od 250000 do 400000 KWh.

A tymczasem doświadczenie okazuje, że barierę tę przekraczają cząsteczki obdarzone energią znacznie mniejszą i to zarówno przy przedostawaniu się do wnętrza (bombardowanie jądra atomowego), jak i przy wydostawaniu się z niego (rozpad promieniotwórczy).

Znowu więc zjawiska w świecie mikrofizycznym przebiegają inaczej, niż tego można by się spodziewać na podstawie analogii ze światem, dostępnym naszym zmysłom.

Podobną barierę potencjału znamy bowiem i w zwykłej fizyce. Wiadomo np., że cząsteczki cieczy wykonują ruchy bardzo szybkie, przy czym szybkości poszczególnych cząsteczek danej cieczy nie są identyczne, lecz rozkładają się w bardzo szerokim obszarze szybkości w sposób ciągły, określony prawami, które ustalił jeszcze *Maxwell*. Otóż, jeżeli

w pobliżu powierzchni cieczy znajdzie się cząsteczka o szybkości tak dużej, że pokona ona przyciąganie cząsteczek, tworzących tę powierzchnię, czyli jej napięcie powierzchniowe (które tu gra rolę bariery potencjału), to cząsteczka ta opuści ciecz i stanie się cząsteczką pary. Dlatego też zawsze, gdy ciecz umieścimy w próżni, pojawi się nad nią para.

Nigdy jednak cząsteczka nie wyskoczy z powierzchni cieczy na zewnątrz, jeżeli jej energia jest mniejsza od napięcia powierzchniowego.

Zupełnie inaczej przedstawia się sprawa z barierą potencjału w wypadku wnętrza atomu. Wróćmy do rysunku 24. Wyobraźmy sobie zaznaczone na nim wnętrze jądra jako krater, oddzielony od otaczającego świata barierą potencjału, niby stożkiem wulkanu.

Ażeby jakaś cząsteczka dostała się do wnętrza krateru, to musi albo przejść przez szczyt góry, albo też... przedostać się do wnętrza, przez tunel w jej boku. Możemy więc sobie wyobrazić, że stożek bariery potencjału przewiercony jest na jednym lub kilku poziomach tunelami, zezwalającymi na przedostanie się w jedną lub drugą stronę cząsteczki o energii mniejszej, niż szczyt bariery potencjału.

Ażeby zrozumieć, skąd biorą się te tunele, przypomnijmy sobie, że szybko biegnąca cząsteczka połączona jest z ruchem fali jej towarzyszącym i że tym samym jest nie tylko materią, ale i falą.

Otóż we wnętrzu jądra, cząsteczki elementarne są w ruchu nieustannym, podobnie jak cząsteczki cieczy. Zachodzi tu jednak jedna istotna różnica między jądrem, a cieczą. Wiemy, że szybkości cząsteczek cieczy rozkładają się w sposób ciągły, natomiast w jądrze atomowym — ze względu na kwantowy rozkład energii w mikrofizyce — energia składających ją cząsteczek nie przyjmuje wszelakich wartości, lecz może przyjąć tylko określone poziomy energetyczne, zmieniające się skokowo, co bardzo dobrze widać na rysunku 25 (*).

*) Rysunek ten przedstawia ilość cząsteczek alfa (jądro He^4) o danej energii, zaobserwowanych przy rozpadzie jądra ^{215}Po w czasie przemiany atomowej

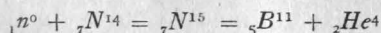
Ażeby dalej wyjaśnić istnienie „tuneli”, przypomnijmy sobie z fizyki zjawiska współbrzmienia (rezonansu), które tak dużą rolę odgrywają w nowoczesnej radiotechnice.

Jeżeli mamy dwie struny, nastrojone na ten sam ton i jeżeli uderzymy w jedną strunę, to po pewnym czasie znacznie brzmieć i struna druga.

Podobnie, gdy w pobliżu bariery potencjału przechodzi jakaś cząsteczka, której fala będzie miała tę samą częstotliwość, co fala, odpowiadająca jakiemuś poziomowi energetycznemu wnętrza atomu, to na skutek współbrzmienia fala wewnątrz jądra zwiększa swe wychylenia (swą amplitudę). Wszystko więc będzie działo się tak, jak gdyby część fali zewnętrznej weszła do wnętrza atomu, przy czym oczywiście przeniknie poprzez barierę potencjału tym większa część fali cząsteczki zewnętrznej, im cząsteczka ta będzie bliżej jądra atomu.

Ponieważ zaś fala ta, to nie innego, jak prawdopodobieństwo, że cząsteczka znajduje się w danym miejscu, to też jeżeli np. przy bardzo bliskim przechodzeniu neutronu o określonej szybkości, fala prawdopodobieństwa, przenikająca poprzez barierę, będzie miała swe szczyty (swą amplitudę) wartości 0,5, to na tysiące neutronów, przechodzących w pobliżu tyluż jąder, około połowy przeniknie do wnętrza jądra.

Neutrony przekroczą więc barierę potencjału nie przez jej szczyt, lecz przez jej „tunel współbrzmienia”.



(znaczenie tych symboli zostanie wyjaśnione w rozdziale VI). Energia na rysunku mierzona jest w « elektronwoltach ». Jeden elektronwolt jest równy $1,64 \cdot 10^{-20}$ kgm. Ponieważ w fizyce atomowej rządzą prawa statystyczne, to też twierdzenie, że energia cząsteczki alfa wynosi np. 2,75 milionów elektronwoltów, oznacza, że wylatujące cząsteczki mają swe energie, które układają się dokoła wartości 2,75 tak, jak strzały działa rozkładają się dokoła środka rozrzutu na odległości np. 2750 m. Z faktu więc, że krzywa na rysunku 25 ma szereg grzbietów (maksimów), możemy wywnioskować, że jej poziomy energetyczne (odpowiadające poziomom energetycznym wnętrza atomu ${}_7^{15}\text{N}^{15}$) przyjmują wielkości, odpowiadające poszczególnym grzbietom. W danym wypadku mamy więc 8 różnych poziomów energetycznych.

Zwartość jądra atomowego

Jak widać z rysunku 22, istnieją określone stosunki neutronów i protonów, które mogą się połączyć ze sobą w sposób trwały i stosunki te wahają się w ciasnych granicach.

Dla małej ilości protonów przeważnie przypada jeden neutron na jeden proton. Gdy atomy stają się cięższe, ilość neutronów rośnie w stosunku do ilości protonów, dochodząc przy końcu tabeli pierwiastków prawie do dwu neutronów na jeden proton.

Odchylenia stosunku ilościowego neutronów do protonów w izotopach są stosunkowo niewielkie. Inne połączenia, gdyby je wytworzyć sztucznie (jak to już w niektórych wypadkach umiemy), byłyby nietrwałe.

Widać więc, że zwartość jądra atomu zależy w bardzo dużym stopniu od stosunku ilości neutronów do ilości protonów w jądrze.

Najtrwalszym jest związek dwu neutronów i dwu protonów, tworzący jądro cząsteczki helu, czyli t.zw. cząsteczką alfa. Do jej rozbicia trzeba podnieść jej temperaturę wewnętrzną do 300 miliardów stopni, lub też dostarczyć (na jeden gram helu) energii takiej, jakiej dostarcza 7 i 1/2 miliona ton wody, spadającej z wysokości 10 metrów. Odpowiada to 210.000 KWh, a więc energii wystarczającej do świecenia przez cały rok, dzień i noc bez przerwy, 240 żarówek stuwatowych.

Inne połączenia są mniej silne, przy czym — naogół biorąc — najtrwalsze są połączenia, mające parzystą ilość protonów i parzystą ilość neutronów; najmniej trwałymi są połączenia, gdzie zarówno ilość protonów, jak i ilość neutronów jest nieparzysta.

Przyczyny zwartości jądra atomowego lub jej braku nie są jeszcze dostatecznie wyjaśnione.

Cząsteczki elementarne

Na zakończenie tego rozdziału dokonajmy przeglądu znanych nam cząsteczek elementarnych. Są to:

- 1) *elektron*, cząsteczka o masie równej $1/1837$ masy jądra wodoru, o ładunku elementarnym ujemnym (*);
 - 2) *pozytron*, o masie identycznej z elektronem i o ładunku elektrycznym równym co do wielkości, lecz *dodatnim*;
 - 3) *proton*, czyli jądro atomu wodoru, o ładunku elektrycznym dodatnim, równym co do wartości bezwzględnej ładunkowi ujemnemu elektronu (**);
 - 4) *neutron*, pozbawiony ładunku elektrycznego, o masie niemal równej masie protonu (*).
- Prócz tych cząsteczek spotykamy jeszcze:
- 5) *neutrino*, cząsteczkę o masie rzędu wielkości elektronu, lecz bez ładunku elektrycznego.
 - 6) *mezotron*, zwany niekiedy *mezonem*, masy około 400 razy większej, niż elektron, wykryty w promieniach kosmicznych; jest on bardzo nietrwały, to też charakter jego jest jeszcze bardzo mało znany.

Wreszcie ostatnio pisma przyniosły wiadomość, jakoby uczeni sowieccy wykryli odpowiednik protonu, lecz o ładunku ujemnym (*negaton*). Ponieważ teoria nie przewiduje istnienia takiej cząsteczki (choć ją nie wyklucza), a brak dotąd potwierdzenia tej wiadomości, należy więc ją przyjąć z dużą ostrożnością.

*) Masa elektronu $m = 0,910 \cdot 10^{-27}$ g, ładunek elektryczny $e = 1,601 \cdot 10^{-19}$ kulombów.

**) Masa protonu wynosi $1,6728 \cdot 10^{-24}$ g, jego « ciężar atomowy » wynosi 1,00758.

***) Masa neutronu jest nieco większa od masy protonu (o 0,136%); wynosi ona $1,6955 \cdot 10^{-24}$ g; « ciężar atomowy » neutronu równa się 1,00895.

V.

ROZPAD PROMIENIOTWÓRCZY

Gdybyśmy wywody nasze mieli rozwijać w porządku historycznym, to od tego rozdziału należałoby rozpocząć naszą książeczką.

Odkrycie bowiem polonu i radu przez Marię Curie Skłodowską i jej męża Piotra Curie, było pierwszym ciosem dla wiary w niepodzielność pierwiastków i to ciosem śmiertelnym, a równocześnie położyło podwaliny pod nową naukę o budowie materii.

Jeszcze w 1896 roku *Becquerel* wykrył, że uran wydzielają samorzutnie promienie o dużej przenikliwości, które zaczerniają płytę fotograficzną i jonizują otaczające powietrze. Maria Curie Skłodowska stwierdziła, że tę samą własność ma również tor (choć w znacznie słabszym stopniu), a rozpoczęte przez nią prace nad promieniowaniem zanieczyszczeń rud uranowych, t.zw. blendy smolistej, doprowadziły do wykrycia przez nią nowego pierwiastka — polonu, a później radu, ciała kilka milionów razy silniej promieniotwórczego (radioaktywnego), niż uran.

Ciał o podobnych własnościach wykryto później znacznie więcej tak, że dziś znamy już bardzo wielką ich ilość. Wykryte dotąd izotopy promieniotwórcze podane zostały w tabelicy 4.

Rozpad promieniotwórczy polega na wydzielaniu przez atom, ulegający rozpadowi, trzech rodzaj promieni:

alfa, które są jądrami helu, a więc zespołem dwu protonów i dwu neutronów,

beta — elektronów

i *gamma* — promieni świetlnych (elektromagnetycznych) o bardzo dużej częstotliwości, jak już o tym poprzednio wspominaliśmy.

Zarówno cząsteczki alfa, jak i beta otrzymują przy tym rozpadzie bardzo duże szybkości początkowe: cząsteczki alfa do 14000 km/sek, beta zaś (wydzielone np. przed radium C — izotop bizmutu) dochodzą do 290000 km/sek, a więc blisko szybkości światła.

Jak później szczegółowe badania wykazały, przy rozpadzie promieniotwórczym nigdy nie wydzielają się cząstki alfa i beta jednocześnie, zawsze bowiem rozpad polega bądź na wydzielaniu wyłącznie cząsteczki alfa, bądź też wyłącznie cząsteczki beta i to przy pewnym określonym atomie zawsze jednej i tej samej cząsteczki (*). Mamy więc albo rozpad „typu alfa” tj. z wydzielaniem cząsteczki alfa, lub też „typu beta”, gdy wydziela się cząsteczka beta.

Ponieważ zaś — jak wiemy — własności chemiczne pierwiastka zależą od ilości jego protonów w jądrze, to też po każdym wyrzuceniu cząsteczki alfa lub beta, pierwiastek promieniotwórczy przechodzi w inny pierwiastek. Reguły tej przemiany są bardzo łatwe do ustalenia.

Jeżeli jakiś pierwiastek wyrzuca cząsteczkę alfa, to z jądra jego ubywają dwa protony i dwa neutrony. Ubytek neutronów nie wpływa na charakter chemiczny atomu, natomiast ubytek dwu protonów powoduje pomniejszenie liczby atomowej o dwa.

I tak np. przy rozpadzie radu, składającego się z 88 protonów i 138 neutronów (^{226}Ra), po wydzieleniu cząsteczki alfa pozostaje 86 protonów i 136 neutronów. Nowe ciało ma

*) Twierdzenie to wydaje się pozornie sprzeczne z obserwacją. Przy rozpadzie radu bowiem obserwujemy np. równocześnie promienie alfa i beta. Wynika to jednak z tego, że wprawdzie sam rad wydziela tylko cząsteczki alfa, lecz pozostałe po rozpadzie nowe atomy, t.zw. *produkty rozpadu*, są również promieniotwórcze i rozpadają się dalej, przy czym niektóre z nich wydzielają cząsteczki beta. Ponieważ zaś rozpad produktów odbywa się równocześnie z rozpadem radu, to też bezpośrednia obserwacja wykazuje równoczesną emisję cząstek alfa i beta, tylko że każda z nich jest wynikiem rozpadu innego pierwiastka.

zwala swą energię znacznie szybciej, w ciągu bowiem godziny dostarcza z grama 0,152 tysięcznych KWh tj. ilość energii wystarczającą, by 132 gramów wody ogrzać o 1°.

Ale i to są ilości zbyt małe, by móc je wykorzystać dla celów przemysłowych.

Cała trudność polega bowiem na tym, że nie mamy żadnego wpływu ani na tempo rozpadu, ani też nie możemy go ani zapoczątkować, ani też przerwać.

Pierwiastki promieniotwórcze więc, choć bardzo cenne dla celów leczniczych, nie mogą służyć jako źródła energii.

VI.

ROZBIJANIE ATOMÓW SZTUCZNA PROMIENIOTWÓRCZOŚĆ

Ciała promieniotwórcze są przykładem naturalnej przemiany pierwiastków, są więc pierwszym promieniem światła, rzuconym na tajemniczy świat wnętrza atomu.

Dokładniejsze jednak wiadomości o tym, co się w tym wnętrzu dzieje, można było uzyskać dopiero wtedy, gdy udało się zrealizować marzenia alchemików, przemianę materii, tj. sztuczne przetwarzanie jednego pierwiastka w drugi.

Pierwsza taka próba udało się w 1919 roku *Ernestowi Rutherford'owi*. Umieszczając mianowicie odrobinę polonium 214, którego promieniotwórczość (z wydzielaniem cząstek alfa) jest wyjątkowo silna, w komorze, napełnionej azotem, stwierdził on pojawienie się wolnych protonów, a więc jąder wodoru.

Schemat przemiany podaje rys. 27. Cząsteczka alfa, poruszająca się z dużą szybkością (w danym wypadku 19200 km/sek), przebija się przez powłokę elektronową atomu azotu, jak pocisk działowy przez warstwę puchu, dochodzi do jego jądra, przekracza jego barierę potencjału i dostaje się do jego wnętrza.

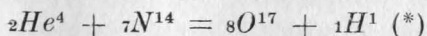
Wnętrze to jest napełnione szybko poruszającymi się cząsteczkami, w danym wypadku 7 protonami i 7 neutronami. Wszystko dzieje się więc tak (używając porównania *Bohr'a*), jak gdybyśmy z siłą wrzucili kulę biliardową do miski, napełnionej już poprzednio innymi kulami (rys. 28).

Jasną jest rzeczą, że nowa kula musi spowodować wielkie zamieszanie, potrącając napotkane po drodze kule dawne i zmuszając je do wykonywania ruchów we wszystkie strony. W rezultacie kulki poczną tańczyć w misce, odbijając się od jej ścian, zderzając się, znów odbijając itd. Nowa kulka pozostanie wśród kulek dawnych, biorąc udział w ich hołupcach.

Coś podobnego dzieje się i we wnętrzu atomu azotu, przy czym energia wpadającej cząsteczki alfa jest tak duża, że podnosi ona energię jądra tak, jak gdyby jego temperatura wewnętrzna wzrosła o blisko 10 miliardów stopni.

Jasnym jest więc, że nowo powstały atom, mający obecnie 9 protonów i 9 neutronów, a więc izotop fluoru o ciężarze atomowym 18 (${}^9F^{18}$), jest w stanie bardzo silnego pobudzenia. „Bariera potencjału” nie może już utrzymać cząsteczek i ta z nich, która otrzymuje największą energię, w danym wypadku najlżejsza, a więc jeden z protonów, wylatuje z jądra. Jest to właśnie proton, zaobserwowany przez *Rutheford’a*. Po jego ubytku w jądrze pozostaje jeszcze 8 protonów i 9 neutronów, czyli izotop tlenu o ciężarze atomowym 17.

Równanie tej przemiany możemy więc napisać następująco:



gdzie liczby, umieszczone z dołu z lewej strony, oznaczają liczbę atomową pierwiastka, a umieszczone u góry, ze strony prawej, jego ciężar atomowy.

Warto zauważyć, że suma liczb dolnych z lewej strony równania musi zawsze być równa sumie tych samych liczb po stronie prawej ($2 + 7 = 8 + 1$): to samo tyczy się i liczb górnych.

Opisana wyżej przemiana ${}^9H^{18}$ w ${}^8O^{17}$ i proton, nie odbywa się momentalnie. Przez czas jakiś istnieje więc jądro, złożone z wszystkich 9 protonów i 9 neutronów. Czas ten wynosi około jednej stumiliardowej części sekundy (**).

Jest to okres tak krótki, że światło, które przecież jest

*) *He* — hel, *N* — azot, *O* — tlen, *H* — wodór.

**) 10^{-14} sek.

najszybszym gońcem na świecie i które przebiega w ciągu sekundy 300000 km, zdołałoby w czasie istnienia fluoru 18 przebyć zaledwo 3 mikrony, tj. 3 tysięczne milimetra.

Gdyby — zgodnie z biblijnym porównaniem — sekunda stała się wiekiem, to przy tym olbrzymim powiększeniu czasu życia fluoru 18 wynosiłoby jeszcze zaledwo 3 stutysieczne części sekundy, a więc tyleż, co iskra elektryczna!

A jednak czas ten jest 1000 razy dłuższy, niż potrzebny na przebycie jądra atomu azotu przez naszą cząsteczkę alfa, lecącą z szybkością — jak już wspomnieliśmy — 19200 km/sek!

Pierwsza udana próba *Rutheford'a* pociągnęła za sobą licznych naśladowców i dziś znamy już setki przemian atomowych.

Zasadą ich otrzymywania jest zawsze to samo: bombardujemy atom jakąś cząsteczką o bardzo dużej szybkości (*), a więc o bardzo znacznej energii. Cząsteczka ta, trafiając w atom, wytwarza bardzo krótko istniejący inny atom w stanie silnie pobudzonym, a więc nietrwałym. Atom ten rozpada się następnie samorzutnie w niezmiernie krótkim czasie, wydzielając jedną lub więcej cząsteczek elementarnych.

Energia wydzielona może być przy tym zarówno mniejsza, jak i większa od energii cząsteczki, która trafi w jądro. Po prostu uderzenie jej działa tak, jak detonacja spłonki, pobudzającej eksplozję prochu. Energia dostarczona zwiększa wewnętrzny stan energetyczny jądra, jego „temperaturę” do tego stopnia, że następuje — jak w wypadku ciała promieniotwórczego — samorzutny rozpad atomu z wydzieleniem znacznych ilości energii.

Dla rozbijania atomów stosują fizycy „pociski” najprzeróżniejszego kalibru, elektrony, protony, deutrony (tj. jądra ciężkiego wodoru), neutrony i cząsteczki alfa.

Technika eksperymentalna wytworzyła dziś potężne maszyny, zwane *cyklotronami*, które udzielają cząsteczkom typu cięższego (proton, deutron, cząsteczka alfa itp.) szybkości dziesiątek tysięcy kilometrów na sekundę.

*) Wyjątek stanowią — jak o tym dalej będzie mowa — bombardowania powolnymi neutronami.

Umiemy dziś nadawać np. protonom szybkości takie, że energia kinetyczna jednej milionowej części grama wynosiłaby 300 KWh.

Inne przyrządy, zwane betatronami, nadają elektronom szybkości rzędu 97% szybkości światła, a ostatnio nawet udało się podobno uzyskać szybkość 99,95% szybkości światła (*). Przy tej szybkości jedna milionowa część grama elektronów miałaby energię 12000 KWh (**).

Należy jednak zaznaczyć, że trafienie jądra atomowego przez taki szybko biegnący pocisk jest niezmiernie trudne. Przecież we wnętrzu atomu panuje niesłychana pustka, to też szansa trafienia jądra przez proton, neutron czy elektron, biegnący poprzez powłokę atomową, jest mniej więcej taka, jak trafienia ziarna grochu przy strzelaniu z karabina maszynowego na 1000 m.

Jak wykazują doświadczenia, na 50000 cząstek elementarnych, którymi bombardujemy atom, jedna zaledwo trafia w jego jądro. Nawet więc w wypadku, gdy energia wydzielona przy trafieniu jednego jądra jest znacznie większa, niż energia bombardującej cząsteczki, to w sumie jednak energia wyzwolona będzie mniejsza, niż energia włożona w rozbicie atomu, poprostu dlatego, że na 50000 cząsteczek uderzających, jedna tylko wyzwala energię rozbitego atomu, reszta zaś marnuje swą własną energię bezproduktywnie. A energia wyzwolona nigdy nie jest 50000 razy większa od energii cząsteczki uderzającej. Zwykle rozbicie atomu nie jest więc źródłem energii.

Z wszystkich cząsteczek elementarnych, używanych do rozbijania atomów, najskuteczniejsze są niewątpliwie neutrony. Inne bowiem wszystkie mają ładunek elektryczny i

*) Nie znaczy to oczywiście, by udało się kiedykolwiek uzyskać szybkość równą szybkości światła, która dla cząsteczki materialnej jest nieosiągalna, gdyż masa jej byłaby wtedy nieskończenie wielka. Przy szybkości 99,95% szybkości światła masa elektronu jest 10 razy większa, niż w stanie spoczynku.

**) Ponieważ masa protonu jest okragło 1840 razy większa, niż elektronu, to też energia kinetyczna *jednego* protonu o energii takiej, że 1/1000000 grama ma 300 WKh, jest 45 razy większa, niż *jednego* elektronu dla którego przy jednej milionowej części grama energia wynosi 12000 KWh

przy przechodzeniu przez powłokę atomową podlegają działaniu elektrostatycznych sił odpychania powłoki elektronowej, lub jądra, muszą więc mieć znaczną energię kinetyczną, by siły te pokonać.

Na neutron natomiast, jako na ciało elektrycznie obojętne, siły te nie działają, jego szybkość może więc być mniejsza. Jak dalej zobaczymy, ma to bardzo duże znaczenie dla zastosowań praktycznych.

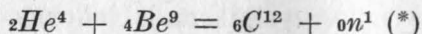
Przypomnijmy sobie z tego, cośmy mówili poprzednio, że elementarna cząsteczka może wejść do wnętrza jądra nawet i wtedy, gdy energia jej jest mniejsza od „bariery potencjału”, jeśli tylko odpowiada ona energii „tunelu” w tej barierze. To też neutron może przenikać do wnętrza jądra nawet i przy szybkości w świecie atomowym niezmiernie niskiej, coś 2000 m/sek, a więc szybkości takiej, jaką mają cząsteczki wodoru w temperaturze pokojowej.

Zrozumiałą zaś jest rzeczą, że działanie neutronu przy małej szybkości będzie zupełnie inne, niż przy szybkości dużej, podobnie jak zupełnie inny skutek wywoła w szybie szklanej kamień, rzucony ręką i pocisk, wystrzelony z karabina.

Jak zobaczymy w rozdziale następnym, właśnie owe wolne neutrony są źródłem najpotężniejszych przemian atomowych.

Najczęściej stosowanym źródłem neutronów to (rys. 29) ampulka szklana, wypełniona gazem, radonem (emanacją radu), z opilkami metalu, berylu.

Przemiana wewnątrz tej ampulki da się wyrazić następującym równaniem:



gdzie n oznacza neutron.

Cząsteczki alfa, wydzielone przez radon, uderzając w jądro atomów berylu, przemieniają je na atomy węgla przy wydzielaniu wolnych neutronów.

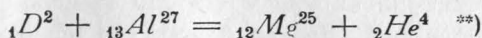
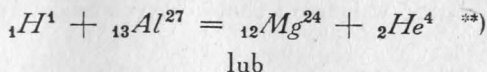
Ponieważ neutron jest bardzo przenikliwy (szybkie neu-

*) He — hel (jądro helu jest cząsteczką alfa), Be — beryl, C — węgiel, n — neutron.

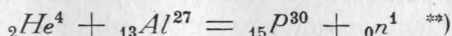
trony przechodzą przez 30 cm ołowiu), a jego działanie fizjologiczne jest bardzo szkodliwe, to też dla ochrony otoczenia przed ciągłym wydzielaniem się neutronów (*), umieszczamy je na czas, kiedy neutrony nie są nam potrzebne, w powłoce z parafiny. Jak bowiem wykazali małżonkowie Joliot (Irena Joliot jest córką Marii Curie Skłodowskiej), atomy wodoru są najsilniejszym pochłaniaczem wolnych neutronów. W parafinie zaś jest dwa razy tyle atomów wodoru, co węgla, przesycą się więc ona neutronami tak, jak woda sodowa dwutlenkiem węgla. Biada jednak temu, kto by zjadł kawałek takiej parafiny neutronowej!

W dotąd podanych przykładach produktami rozbitcia atomu były tylko protony i neutrony.

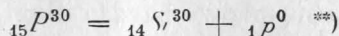
Znamy jednak i przykłady, gdzie produktem takim jest cząsteczka alfa. Bombardując mianowicie przy pomocy protonu lub też deutronu (ciężki wodór) atom glinu, otrzymujemy magnez i cząsteczkę alfa wedle równań:



Znamy również przemiany z wydzielaniem pozytronu. Bombardując atom glinu, tym razem przez cząsteczkę alfa, otrzymujemy fosfor i neutron wedle równania:



Lecz fosfor 30 jest niestabilny i rozpada się dalej promieniotwórczo z wydzielaniem *pozytronu* wedle równania:



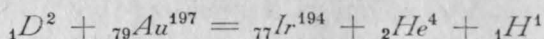
gdzie ${}_1p^0$ oznacza pozytron, którego ładunek elektryczny jest dodatni, równy ładunkowi protonu.

Znamy również przemiany, gdzie wydzielają się dwie cząsteczki równocześnie, np. gdy bombardujemy atomy złota deuteronami. Otrzymamy

*) Na proces wewnątrz ampułki nie mamy bowiem żadnego wpływu; radon *stale* wydziela cząsteczki alfa, to też beryl wydziela neutrony bez przerwy.

*) H — wodór, Al — glin, Mg — magnez, He — hel (cząsteczka alfa), D — deuteron (ciężki wodór), P — fosfor, n — neutron, Si — krzem, p — pozytron, Au — złoto, Ir — iryd.

wtedy iryd (metal zbliżony swymi własnościami do kobaltu i dość bliski platynie) oraz cząsteczkę alfa i proton, wedle równania:



Przemian atomowych, powstałych na skutek sztucznego rozbicia jądra, znamy dziś już setki. Najciekawsze z nich i o największym znaczeniu praktycznym, to przemiany, których rezultatem są pierwiastki sztucznie promieniotwórcze.

Wspomniany wyżej jeden z nich, fosfor 30, jest typem o tyle ciekawym że nie spotyka się go w promieniotwórczości naturalnej; wydziela on mianowicie pozytrony. *) Energia wewnętrzna fosforu 30 jest tak duża, że wystarcza zupełnie na przemianę protonu na neutron, z wydzielaniem pozytronu, przemianę która — jak to wspomnieliśmy w rozdziale IV — pochłania dość dużo energii.

Wytworzony pozytron — podobnie jak i elektron — w stanie wolnym nie może się utrzymać w jądrze i zostaje wypromieniowany na zewnątrz.

Znamy dziś już bardzo wiele ciał sztucznie promieniotwórczych. Do końca 1936 roku wykryto ich około 45, przy czym stosunkowo najwięcej, bo aż 33 z nich powstaje przy bombardowaniu neutronami. Z ciał tych duże szczególnie znaczenie ma radiofosfor (fosfor 32), który otrzymuje się, bombardując neutronami siarkę 32 lub chlor 35, oba pierwiastki bardzo powszechne i wchodzące w skład naszego organizmu, podobnie zresztą jak i fosfor. Średni okres życia radiofosforu jest stosunkowo bardzo długi, jeden z najdłuższych w znanych ciałach sztucznie promieniotwórczych (**), bo wynosi 14 dni; jest on więc dość długotrwały, by wywołać poważne skutki fizjologiczne zwłaszcza, że przy średnim

*) Pierwiastki naturalnie promieniotwórcze wydzielają tylko elektrony i cząsteczki alfa.

**) Dłuższy od radiofosforu średni okres życia ma tylko radiowęgiel, znany już od kilku lat, lecz produkowany w ilościach, mających znaczenie praktyczne, dopiero po wykonaniu bomby atomowej. O radiowęglu będzie mowa dalej, w rozdziale IX.

okresie 14 dni, jeszcze po 99 dniach pozostaje 1% pierwotnej ilości radiofosforu.

Drugim ciekawym ciałem sztucznie promieniotwórczym, to radiosód (sód 24), powstający przy bombardowaniu sodu 23 neutronami, ciało o średnim okresie życia 13 godzin, które dziś już umiemy produkować w dużych stosunkowo ilościach i które ma szansę do odegrania dużej roli w lecznictwie. Do tego samego celu zresztą użyto w Stanach Zjednoczonych ostatnio (czerwiec 1946 roku) i radiofosforu.

VII.

ROZSZCZEPIENIE ATOMU

Jak już wspomnieliśmy w poprzednim rozdziale, neutron powolny wywołuje w jądrze atomowym skutki znacznie poważniejsze, niż neutron szybki.

Sięgnijmy znów do porównania z makrofizyki. Weźmy (rys. 30) kroplę cieczy (np. oliwy) i nadajmy jej szybki ruch obrotowy. Kropla zacznie się spłaszczać na biegunach, a rozszerzać na równiku, tworząc coś w rodzaju elipsoidy. Gdy szybkość obrotu jeszcze bardziej wzrośnie, elipsoida zacznie się rozdzielać na dwie powierzchnie kuliste (jak na rysunku), aż wreszcie przy szybkości dostatecznie dużej rozpadnie się na dwie części.

Coś podobnego może zajść i w jądrze atomu, gdy trafi go powolny neutron, który nie rozbija jądra, a tylko powiększy jego energię wewnętrzną. Zapewne, nie trzeba koniecznie sądzić, że jądro atomowe obraca się dokoła własnej osi, choć ma ono pewien skręt (spin). Wiemy bowiem, że w świecie atomowym nie wolno nam stosować dosłownie pojęć z makrofizyki.

Jakby jednak nie było, gdy energia wewnętrzna atomu uranu, i tak już mocno przeładowanego cząsteczkami (*), zostanie nagle podwyższona przez włączenie stosunkowo powolnego neutronu (**), to energia wewnętrzna staje się zbyt

*) Właśnie dlatego jest on pierwiastkiem promieniotwórczym.

**) Przypominam, że «powolny» w świecie atomowym oznacza szybkość kilku kilometrów na sekundę, a więc wcale pokaźną w zmysłom naszym dostępnym świecie.

duża — podobnie jak energia obrotowa wspomnianej wyżej kropli oliwy — i jądro atomu rozpadnie się na dwie części.

Nie jest to tylko teoria — wypadki takie zachodzą istotnie. Jeżeli mianowicie bombardujemy jądro U^{235} (tj. izotop uranu o ciężarze atomowym 235) przez wolno poruszające się neutrony, to jądro to rozszczepia się na dwie duże części, masą mniej więcej równe połowie masy jądra uranu, wydzielając równocześnie wielką ilość energii.

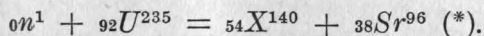
Jest to więc już nie „rozbicie atomu”, ale jego rozszczepienie, owa podstawowa dziś zasada fizyczna wykorzystania energii wewnątrz-atomowej, znanej całemu światu pod postacią bomby atomowej.

Jak zwykle przy tego rodzaju epokowych odkryciach, trudno powiedzieć, komu właściwie przypisać zasługę pierwszego poznania możliwości rozszczepiania się jądra uranowego. W pracach, które doprowadziły do tego rezultatu, wzięli udział *Fermi* we Włoszech, *Bohr* w Danii, małżeństwo *Joliot, Adler, Halban, Kowarski, Savitch* i *Thibaud* we Francji, *Chadwick, Fish* i *Peierls* w Anglii, a wreszcie *Frisch, Strassmann, Hahn* i *Meitner* w Niemczech.

Tym dwu ostatnim zwłaszcza należy przypisać pierwszy jasny obraz tego, co się dzieje przy rozszczepianiu uranu.

Jak dziś już dokładnie wiemy, jądro uranu ^{235}U , bombardowane przez powolny neutron, rozszczepia się na dwa nowe jądra, przy czym znane są aż cztery różne możliwości tego rozpadu (rys. 31).

Weźmy na przykład rozpad uranu ^{235}U na ksenon i stront; jak okazują badania laboratoryjne, rozpad ten odbywa się wedle równania:



Jako produkty rozpadu otrzymujemy więc monstrualnie ciężarne neutronami atomy, jak ksenon 140, który ma co najmniej 6 neutronów za dużo i stront, który ma ich za wiele co najmniej o 8.

Przy rozpadzie na krypton i bar wedle równania;



*) n — neutron, U — uran, X — ksenon, Sr — stront, Kr — krypton, Ba — bar.

krypton ma co najmniej o dwa, a bar co najmniej 10 neutronów za dużo.

Jasną jest więc rzeczą, że jądra te nie mogą być stałe i muszą dążyć do wydzielania ze siebie nadmiaru energii.

Uczynić to mogą w sposób dwojaki: po pierwsze przez sztuczną promieniotwórczość, po drugie przez wydzielanie neutronów.

Pierwsze zjawisko istotnie obserwowano jako promieniotwórcze przemiany z wydzielaniem elektronu, przy czym krypton poprzez rubid i stront przechodzi ostatecznie w ytr, lub dalej jeszcze w cyrkon, ksenon zaś, poprzez cez i bar, przemienia się w lantan, lub dalej jeszcze w cer. Są to przemiany dość powolne, ze średnimi okresami życia każdego etapu od pół minuty, do 57 dni.

Druga przemiana, neutronowa, jest znacznie szybsza, odbywająca się w drobnych ułamkach sekundy, przy czym — jak obliczyli małżonkowie *Joliot* — każde rozszczepienie jądra uranu daje średnio 3 i 1/2 nowych neutronów.

Uzyskaliśmy więc w fizyce atomowej po raz pierwszy t.zw. reakcję łańcuskową.

Jeden neutron mianowicie, uderzając w jądro uranu 235, powoduje jego rozpad i wyzwala 3 nowe neutrony; każdy z nich, uderzając w jądro następne, wyzwala 3 dalsze neutrony, wyzwalając obecnie już neutronów 9; następny etap dostarcza neutronów 27 i t.d.

Schemat takiego rozpadu podaje rysunek 32 (*).

Rozszczepienie uranu dostarcza przy tym olbrzymich ilości energii, 200 milionów razy więcej, niż energia włożona w to rozszczepienie. Jak bowiem okazuje dokładny pomiar, masa ostatecznych produktów rozpadu jest o masę 1/5 neutrona, tj. o 0,85‰ (promile) masy atomu uranu mniejsza od masy pierwotnej atomu nie rozszczepionego.

*) Oczywiście schemat ten jest nieco zbyt idealny. Nie każdy z tych trzech nowych neutronów trafić musi w jądro atomu, to też potrojenie reakcji na każdym kolejnym szczelbu nie jest możliwe. Ażeby jednak reakcja łańcuskowa mogła mieć miejsce, wystarczy, by współczynnik powiększenia był znacznie nawet mniejszy, niż 3:1. Gdyby wynosił on np. ledwo 1% (tj. 1.01:1), to i tak dla całkowitego rozszczepienia jednego grama uranu, zawierającego $2,53 \cdot 10^{21}$ atomów, wystarczy już około 5000 kolejnych szczelbli rozpadu.

W ten sposób rozbić uranu wyzwała co prawda tylko okrągło 1200 razy mniej energii, niż energia całej masy tego ciała, a więc drobny jedynie jej ułamek; tym nie mniej jednak i to stanowi zapas energii miliony razy przewyższający energię, jakiej mogą dostarczyć procesy chemiczne. Rozszczepienie bowiem 1 kg uranu wyzwała energię 22 milionów KWh, tj. energię równą połowie dziennego spożycia Francji w 1939 roku. Ażeby uzyskać tę energię, trzeba by spalić 2 i 1/2 tysiąca ton węgla, tj. ładunek około 250 dziesięciotonowych wagonów!

Obliczono również, że wybuch jednego kilograma uranu 235 ma moc kruszącą równą wybuchowi 20000 ton trotylu (TNT)!

Zanim jednak przejdziemy do praktycznych zastosowań tego przebogatego źródła energii, należy zwrócić uwagę na dwie zasadnicze trudności, jakie trzeba było pokonać, aby móc otworzyć nareszcie tajemnicze wrota energii atomowej.

Otóż schemat, podany na rysunku 32, jest zbyt prosty. Wobec bowiem szalonej pustki, jaka panuje we wnętrzu atomu, szansa, że wyzwolony neutron trafi w następne jądro atomu uranu, jest niezmiernie mała.

Ale i na to jest rada.

Wyobraźmy sobie pole minowe, składające się z jednego szeregu min, ułożonych co 100 m od siebie. Trzeba zaiste mieć szczególnego pecha, by trafić na minę, przechodząc przez takie pole. Jeżeli jednak takich pasm ułożymy kilka tysięcy, jedno za drugim, przesuwając w każdym następnym paśmie miejsce ułożenia min dowolnie w stosunku do pasma poprzedniego, to naodwrot wyjątkowy tylko szczęściarz będzie mógł przejść do pola bez wyskoczenia na minie.

To samo dzieje się i z neutronami, przebiegającymi przez uran. Przecież w kilogramie uranu jest kilka kwadrylionów (bilionów bilionów) atomów. Neutron więc, który nie trafi najbliższego jądra uranu, napewno ostatecznie trafi jakieś inne jądro atomu, byle tylko gęstość warstwy uranu, przez którą musi przejść, była dostatecznie duża.

Na odwrót zrozumiałym jest, że przy zbyt małej ilości uranu większość neutronów przejdzie bez trafienia w jądro następnych atomów i wybuch całości nie nastąpi.

Ażeby przeto wybuch nastąpił, masa uranu musi być dostatecznie duża. Istnieje więc pewne minimum masy, poniżej

którego wybuch nie może nastąpić. Wedle dotąd dostępnych źródeł, mieści się ono między 0,7 a 1 kg. Przy mniejszej masie, np. przy 100 g, można bombardować uran, ile się chce; poszczególne atomy się rozpadną, wybuch całości jednak nie nastąpi.

Druga trudność polega na tym, że uran taki, jaki spotykamy w dostępnych nam jego rudach, jest mieszaniną dwu izotopów ${}^{238}\text{U}$ (lub w skrócie $U\ 238$) i $U\ 235$. Z nich tylko $U\ 235$ ma owe tak pożądane własności rozszczepiania się z wydzielaniem energii, $U\ 238$ natomiast, nie tylko że się nie rozszczepia, lecz na odwrót pochłania neutrony. Ponieważ zaś w zwykłym uranie, $U\ 235$ stanowi zaledwie 1/140 część całej masy, to też neutrony, powstałe przy rozszczepianiu $U\ 235$, trafiają przeważnie w żarłoczne na nie atomy izotopu $U\ 238$ i łańcuch się przerywa.

W jaki sposób udało się uczonym trudności te pokonać, o tym powiemy w rozdziale następnym.

VIII.

BOMBA ATOMOWA

Trochę historii

Jak widzieliśmy w poprzednim rozdziale, uczeni, którzy liczyli, że oto otwarły się przed nimi tajemnicze wrota Sezamu, nieprzebrane zapasy energii wewnątrz-atomowej, znaleźli się nagle w położeniu poszukiwacza skarbów, któremu bramę do skarbcza zatrzęsnięto przed samym nosem.

Raz jednak pobudzone nadzieje zachęciły do dalszych wysiłków, aby odnaleźć wreszcie ową tajemniczą formułę: „Sezamie, otwórz się”.

Międzynarodową współpracę uczonych, ową mocną dźwignię postępu nauki, rychło jednak przerwała wojna.

Wszystkie strony walczące lub też gotujące się do wojny, rozumiejąc doskonale, jaką potęgę dałoby im do ręki wykorzystanie przebogatych źródeł energii wewnątrz-atomowej, wzięły się do wyteżonej pracy.

W Niemczech badania w zakładach w *Oranienburg*, *Hanowerze*, i na wyspie *Bornholm* były posunięte już tak daleko, że gdyby upadek Niemiec spóźnił się o kilka miesięcy, pierwszy wybuch bomby atomowej nastąpiłby nie nad Japonią, ale... nad Londynem.

Równocześnie Niemcy bardzo daleko posunęli produkcję ciężkiej wody (D_2O), która przy ich typie bomby atomowej stanowiła — jak o tym dalej będzie mowa — element niezbędny. Dla tego też lotnictwo angielskie tak uparcie bombardowało zakłady chemiczne w *Rjukan* (w Norwegii), gdzie odbywała się ta produkcja.

ściu gazu przez przegrodę dyfuzyjną, gaz wyciągnięty z drugiej strony przegrody będzie zaledwo o 4 ‰ (promile) bogatszy w U^{235} od gazu pierwotnego.

Jeżeli więc początkowe stężenie izotopu U^{235} wynosi 1/140, to aby otrzymać stężenie 1/2 tj. 50% izotopu U^{235} w parze UF_6 , trzeba tę operację powtórzyć kilka tysięcy razy (*).

Jak podaje literatura, początkowo próbowano obu metod dyfuzji, później jednak zatrzymano się na dyfuzji gazowej z tym, że dostarczała ona jedynie półfabrykatów, które następnie wzbogacono dalej metodą spektrografu masy.

Metodę dyfuzji gazowej opracowali fizycy amerykańscy *Urey* i *Dunning*, przy późniejszej współpracy szeregu uczonych amerykańskich i angielskich.

Wybudowane na tej zasadzie zakłady *Oak Ridge* w *Tennessee* weszły w skład wielkiego centrum badań atomowych w *Tennessee*, które w 1945 roku zaludnione było przez 75000 osób. Same zakłady miały 425 budynków.

W połowie 1946 roku najmniejszy z zakładów, dyfuzji cieplnej, zamknięto, natomiast zakłady dyfuzji gazowej i spektrografu mas pracowały nadal po 24 godzin dziennie, 7 dni w tygodniu. Ilość osób, zamieszkujących *Oak Ridge*, wynosiła jeszcze ciągle 43500 osób. Średni koszt miesięczny utrzymania zakładów spadł z 43500000 dolarów w 1945 roku do 23875000 dolarów w 1946 roku. Nie należy jednak sądzić, by było to zmniejszeniem produkcji. W pierwszym rzędzie bowiem ilość robotników, zatrudnionych przy budowie zakładów i miasta, spadła z 79000 na 2000, co jest zupełnie zrozumiałe wobec zakończenia robót inwestycyjnych. Zmniejszenie ilości robotników, zatrudnionych przy produkcji, z 49000 na 29000 osób oraz zmniejszenie kosztów są raczej wynikiem ulepszeń w metodach produkcyjnych, niż zmniejszenia produkcji.

Całość zakładów przemysłowych w *Tennessee* t.zw. *Manhattan Engineer District* (wybudowany przez firmę *The Clinton Engineer Works*) zajmuje przestrzeń 59000 akrów

*) Gdyby można było osiągnąć stopień wzbogacenia 4 ‰, to wystarczyłoby 1700 nawrotów. W praktyce jednak liczby jej nigdy nie udało się uzyskać, to też w rzeczywistości trzeba było około 3000 powtórzeń.

(240 km²). Samo miasto *Oak Ridge* rozpościera się na 20 km².

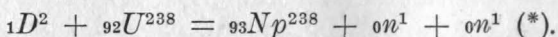
Cały ten olbrzymi obszar przemysłowy, odpowiadający kwadratowi o boku 15,5 km, był przez cały czas wojny i jest nadal silnie strzeżony i ochraniały gęstą siecią posterunków i patroli.

Pierwiastki poza-uranowe

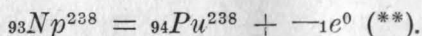
Pierwiastkiem o najwyższej ilości protonów, spotykanym na ziemi, jest uran, którego liczba atomowa wynosi 92. Pierwiastków o jeszcze większej ilości protonów na ziemi nie ma. Uczni przypuszczali, że pierwiastki takie mogły co prawda kiedyś istnieć, lecz że są one tak nietrwałe, iż rozpadły się z czasem, przechodząc w pierwiastki lżejsze, podobnie jak uran przechodzi przez powolny rozkład promieniotwórczy w ołów.

Po raz pierwszy dopiero *Fermi*'emu udało się w 1934 roku wytworzyć sztucznie, w minimalnych ilościach, nowy pierwiastek o liczbie atomowej 93, który nazwano *neptunem* (*Np*). Był to pierwiastek niezmiernie nietrwały, tak że długi czas wogóle kwestionowano prawdziwość tego odkrycia. Nawiasem mówiąc, właśnie badania nad neptunem doprowadziły do wykrycia rozszczepienia atomu uranu.

Dopiero w 1940 roku udało się *Abelsonowi* i *Mc. Millanowi* wykryć drobne ilości neptunu, przy bombardowaniu uranu 238 przez neutron (jądro ciężkiego wodoru), w myśl równania:



Zgodnie z przewidywaniami, nowy ten pierwiastek jest silnie promieniotwórczy i rozpada się dalej z wydzielaniem elektronu w myśl równania:

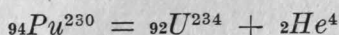


Powstający w ten sposób pierwiastek o liczbie atomowej 94, to nowy, nieznan na ziemi atom, odległy już o dwie liczby atomowe od uranu; otrzymał on nazwę plutonu.

*) *D* — neutron, *U* — uran, *Np* — neptun, *Pu* — pluton, *e* — elektron, *He* — hel, *n* — neutron.

**) Ładunek elektronu wynosi —1, masa zaś jest tak mała, że przyjmuje się ją za równą zeru.

Jest on również promieniotwórczy i rozpada się z wydzielaniem cząstki alfa, przechodząc w uran 234, rzadki bardzo izotop uranu:

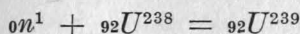


Średni okres jego życia wynosi 50 lat, co tłumaczy, dlaczego pierwiastek ten, gdyby nawet był istniał kiedyś na ziemi, to do dziś musiałby zaniknąć.

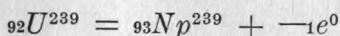
Nie ten jednak pluton odegrał rolę w budowie bomby atomowej.

Jak już powiedzieliśmy poprzednio, neutrony, wydzielone przez uran 235, podlegały silnemu pochłonięciu przez drugi izotop uranu U^{238} . Gdzie się one podziewały?

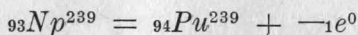
Badania, w których największe zasługi położył *Fermi*, wykazały, że uran 238 po prostu włącza te neutrony we własne jądro, przechodząc w nowy izotop U^{239} , w myśl równania:



Tak powstały izotop uranu jest ciałem silnie promieniotwórczym, o średnim okresie życia 23 minut; jego rozpad promieniotwórczy odbywa się wydzielaniem promieni beta:



Produktem rozpadu jest neptun Np^{239} , również ciało promieniotwórcze, o nieco dłuższym średnim okresie życia (2,3 dnia), które jednak rozpada się z dalej wydzielaniem promieni beta, przechodząc w pluton Pu^{239}



Ten izotop plutonu jest stosunkowo stały (brak dotąd danych o średnim okresie jego życia) i ma przy tym tę samą własność, co uran 235 tj., że rozszczepia się pod wpływem powolnych neutronów na dwie mniej więcej równe części, również wydzielając znaczne ilości energii.

Co do własności chemicznych plutonu brak jeszcze dokładniejszych danych. Wobec tego, że uran (rys. 16) ma już elektrony na pierścieniu 7 (Q), a zarówno jego pierścień P , jak i O nie są jeszcze pełne, to też nowe elektrony neptunu i plutonu mogą bądź rozpocząć wypełniać brakujące poziomy pierścienia P , a wtedy własności plutonu będą podobne do

grupy żelazo, ruten, osm, bądź też mogą one zacząć uzupełniać brakujące poziomy pierścienia *O*, a wtedy uran stałby się pierwszym członem nowej grupy «metali ziem rzadkich», jak grupa lantan — lutece. Brak jeszcze dotąd danych, która z tych możliwości istotnie zachodzi.

Jakby jednak nie było, pluton 239, podobnie jak uran 235, jest źródłem energii atomowej.

Cały problem polega więc na tym, jak przystąpić do produkcji tego nowego pierwiastka.

Po licznych próbach zastosowano system, polegający na wykorzystaniu faktu, iż uran jest mieszaniną izotopów *U* 238 i *U* 235.

Dwie trudności należało tu pokonać. Z jednej strony — jak już wspomnieliśmy poprzednio — ilość uranu, poddanego przeróbce, nie może być za mała, gdyż wtedy zbyt dużo neutronów umknie bezcelowo i reakcja się przerwie.

Z drugiej strony, neutrony wydzielane przez rozszczepienie *U* 235 są zbyt szybkie, gdyż zarówno dla spowodowania rozszczepienia tego izotopu uranu, jak i do przemiany uranu 238 na uran 239 potrzebne są neutrony powolne. Należy więc je zwolnić. Najlepszym zwalniaczem (moderatorem) jest woda ciężka, stosowana do tego celu przez Niemców. Ponieważ jednak praktyczne zastosowanie tej wody powodowało liczne trudności, to też uczeni amerykańscy pod kierunkiem *Fermi*'ego zastosowali inny zwalniacz, grafit, przy czym *Fermi* dokładnie obliczył grubość warstwy grafitu, potrzebną by szybkość protonu spadła do szybkości cieplnej (*).

*) Biorąc pod uwagę fakt, że neutron nie wędruje w graficie po linii prostej, lecz po przebyciu średnio drogi 25 mm zderza się z jądrem węgla, odbija od niego i zmienia swój kierunek. Ażeby energia neutronu, wydzielonego, przez rozszczepione jądro uranu 235, spadła do szybkości termicznej, potrzeba blisko 200 zderzeń.

Zachodzi przy tym dalsza trudność: inna szybkość neutronów potrzebna jest, by rozszczepić uran 235, inna zaś, by przemienić uran 238 w pluton. Grubość zwalniacza musi więc być tak dobrana, by z jednej strony nie przerwał się raz rozpoczęty proces przemiany, a więc by ilość neutronów do rozszczepienia uranu 235 wzrastała, a nie malała, z drugiej zaś, by cel właściwy, produkcja plutonu, został osiągnięty, tj. by ilość neutronów o szybkościach potrzebnych do przemiany *U* 238 w *U* 239 była dostateczna.

W rezultacie zastosowano następującą metodę: w bloki grafitowe wkładano w odpowiednich odstępach kawałki uranu, tworząc z poszczególnych kostek razem t.zw. baterię.

Tu zachodziła jednak nowa obawa. Gdyby baterie ta była zbyt duża, to łączna ilość uranu 235 i plutonium 239 mogłaby spowodować samorzutny wybuch całej masy.

To też przy pierwszych próbach zastosowano z jednej strony metodę kolejnego układania cegiełek z grafitu, między które wkładało się kawałki uranu, z drugiej zaś ruchome przegrody z kadmu, który bardzo silnie pochłania wolne neutrony tak, że przegroda taka natychmiast przerywa rozpoczęty proces.

Przy pierwszej próbie, dokonanej w dniu 2 grudnia 1942 roku w *Chicago*, urządzenie to okazało się niezmiernie pożyteczne, gdyż — wbrew obliczeniom — reakcja rozpoczęła się przy mniejszej ilości cegiełek, niż to pierwotnie sądzono. Wprowadzone natychmiast przegrody kadmowe odegrały swoją rolę i przerwały niespodziewany proces, pozwalając nadać mu bieg, odpowiadający potrzebom produkcji plutonu.

Po tej pierwszej próbie metodę udoskonalono i kawałki uranu zastąpiono prętami, co zezwala na wygodną ich wymianę w czasie fabrykacji (rys. 36).

W miarę bowiem produkcji zanikają atomy uranu 235, potrzebne do jej zasilania, a na ich miejsce gromadzą się jego produkty rozszczepienia; równocześnie pod wpływem wolnych neutronów rozszczepia się w drobnym stopniu również i pluton. Jedno i drugie może więc przerwać proces łańcuskowy.

Trzeba więc pręty w odpowiednim czasie wymienić na pręty nowe. Taki wyciągnięty pręt zostawia się na dłuższy czas samemu sobie (proces dojrzewania), by większość ciał sztucznie promieniotwórczych uległa przemianom w dostatecznym procencie tj. by możliwie jak najwięcej uranu przemieniło się w pluton. Następnie pluton wyciąga się z prętu dość żmudnymi metodami chemicznymi.

Dalsza trudność, która jednak stwarza duże perspektywy na przyszłość, to wielkie ilości ciepła, jakie powstają w czasie produkcji plutonu, sięgające do półtora miliona KWh na jeden kilogram wyprodukowanego plutonu. Ażeby więc

przez zbyt silne rozgrzanie nie zniszczyć instalacji, zastosowano intensywne chłodzenie, co zmusiło do budowy fabryki plutonu w pobliżu bogatej w wodę rzeki. Jako pomieszczenie fabryki wybrano rejon miasta *Richland* w stanie *Washington* w pobliżu rzeki *Columbia* (*).

Produkcja plutonu jest jednak bardzo niebezpieczna, gdyż zarówno proces przemiany uranu w neptun i neptunu w pluton oraz rozszczepienia uranu 235 i plutonu 239, jak i chemiczne oddzielanie plutonu z prętów pouranowych, połączone są z silnymi promieniowaniami, bardzo niebezpiecznymi dla zdrowia otoczenia. Ponadto powstaje znaczna ilość pierwiastków promieniotwórczych, które unosi ze sobą tak woda chłodząca, jak i powietrze, przechodzące przez komory produkcyjne.

To też sam proces odbywa się za silnymi przegrodami, zabezpieczającymi całkowicie zatrudniony przy pracy personel przed promieniami ciał promieniotwórczych, a wszystkie czynności przy produkcji odbywają się mechanicznie, kierowane z oddali, gdyż wejście człowieka do komory, gdzie odbywa się proces alchemiczny powstawania plutonu, byłoby dla niego śmiertelne.

Potrzebne były również urządzenia dla zmniejszenia działania promieniotwórczego wody chłodzącej, a nawet i powietrza.

Ażeby więc uchronić ludzi, pracujących przy fabrykacji plutonu, istniała zorganizowana sieć aparatów kontrolnych, które mierzyły promieniotwórczość powietrza i gdy stwierdziły one, że promieniotwórczość osiąga granice niebezpieczne dla zdrowia, wprowadzały samoczynnie w ruch system alarmowy. Równocześnie każdy z pracowników nosił przy sobie mały aparat kontrolny, który ostrzegał go, gdy promieniotwórczość otoczenia przekroczyła dozwolone granice.

Ostrożności te w zupełności osiągnęły zamierzony skutek; nie było wypadku zachorowań wśród personelu na sku-

*) Często w literaturze spotyka się nazwę *Hanford*; jest to nazwa firmy, *Hanford Engineer Works*, która tam wybudowała zakłady przemysłowe, stąd też cały rejon przemysłowy otrzymał nazwę rejonu *Hanford*. Ponadto w pobliżu zakładów zbudowano małe miasteczko, nazwane również *Hanford*.

tek promieniotwórczości, a równocześnie — choć promienie te przy zbyt długim działaniu powodują bezpłodność — gazety amerykańskie szczytą się rekordową ilością noworodków w rejonie *Hanford*.

Początkową produkcję mierzono miligramami; do 1 marca 1944 roku wzrosła ona do kilkunastu gramów, w maju tegoż roku osiągnęła już ponad 1 gram dziennie, aż wreszcie doszło do cyfr znacznie większych, niewątpliwie (ostrożnie oceniając) ponad 1/3 kg dziennie. Dokładne cyfry nie zostały oczywiście nigdy podane.

Ilość robotników, którzy tam pracowali, różne źródła podają rozmaicie. Faktem jest jednak, że ilość pracowników w zakładach *Hanford* nie uległa do połowy 1946 roku zmniejszeniu i że nadal otacza miasto to gęsta sieć posterunków, strzegących dostępu doń niepowołanym i intruzom.

Zakłady *Hanford* zbudowano na terenie wielkich lasów na północny wschód od miasta *Pasco*. Głównym miastem tego terenu przemysłowego jest — jak już wspomniano — *Richland*, zamieszkałe w 1946 roku przez 17000 mieszkańców. W pobliżu zakładów znajduje się miasteczko *Hanford* dla kilkuset ich pracowników. Ogółem rejon przemysłowy *Hanford* miał pomieszczenia na 45000 robotników.

Trzeci zakład, przeznaczony już, zdaje się, do prób nad samą bombą i do jej zespalania z części składowych i surowców, dostarczonych przez inne zakłady, powstał w 1943 roku w *Los Alamos* w stanie *Nowy Meksyk*.

Tam zdarzył się pierwszy wypadek śmiertelny, pierwsza ofiara obowiązku i poświęcenia.

W czasie prac laboratoryjnych nad ilościami uranu (czy też plutonu), które uważano za będące poniżej masy krytycznej, a więc są za zupełnie bezpieczne, niespodziewanie rozpoczęła się reakcja; powolna jeszcze co prawda, ale już wydzielająca śmiertelną dawkę promieniowania. Pierwszy spostrzegł to dr *Glavin*, Kanadyjczyk. Momentalnie rzucił się naprzód, przesłonił innych swym ciałem od źródła promieniowania i rozrzucił zebrane cegielki, przerywając przez to natychmiast reakcję.

Po 9 dniach umarł „śmiercią promieniotwórczą”. Siedmiu innych jego kolegów, mniej dotkniętych promieniowaniem, wróciło do zdrowia.

Prócz wymienionych wyżej trzech centrów istniał jeszcze cały szereg mniejszych zakładów i laboratoriów na terenie Stanów Zjednoczonych i Kanady. W pierwszym rządzie były to laboratoria uniwersyteckie w *Columbia, Chicago, Iowa*, a dalej Laboratorium Badawcze Marynarki Wojennej. Innych miejsc studiów dotąd nie ujawniono.

Budowa bomby atomowej

Sama konstrukcja bomby atomowej jest oczywiście tajemnicą i możemy raczej tylko domyślać się zasad jej budowy, niż powiedzieć o niej coś pewnego.

Wedle wszelkich danych, waży ona co najmniej 200 kg (*), zawierając przy tym — zdaje się — niewiele ponad 1 kg uranu 235, lub też — zależnie od jej typu — plutonu.

Sam skład bomby jest mało znany. Prawdopodobnie posiada ona jakieś źródło neutronów. Czy będzie to podana na rysunku 29 ampulka radonu z berylem, czy też jakieś inne urządzenie, trudno zgadywać.

Następnie musi istnieć jakaś warstwa moderatora (grafitu, wodoru, wody ciężkiej i tp.), która zwalnia bieg neutronów do szybkości koniecznej dla zapoczątkowania procesu.

Dalej przyjsć musi przegroda, prawdopodobnie z kadmu lub złota, która nie dopuści neutronów do plutonu, czy uranu 235 przed czasem zamierzonego wybuchu.

Wreszcie przychodzi treść właściwa bomby, pluton względnie uran 235, rozmieszczone na odpowiednich odległościach w moderatorze i otoczone prawdopodobnie również warstwą moderatora (grafitu). Są one, jak można się domyśleć, podzielone na części, izolowane od siebie przegrodami, po usunięciu których dopiero zbiera się razem masa krytyczna, wystarczająca do podtrzymania łańcucha rozpadu.

Rozwiązań może być tu wiele; oprócz przegród możliwy jest np. również podział masy na dwie części, które dopiero w chwili zamierzonego wybuchu przybliżą się do siebie na odległość krytyczną i wiele innych rozwiązań. Są nawet fi-

*) Ostatnie opisy prób w Bikini zdają się — mimo całej ich niejasności — raczej potwierdzać ten rząd wielkości.

zycy, którzy twierdzą, że wogóle źródło neutronów nie jest potrzebne, gdyż już proste zebranie razem masy krytycznej zapoczątkuje samorzutny rozpad.

Trudno powiedzieć, co tu istotnie jest prawdą.

Ponadto istnieć musi jakiś zapalnik, który w odpowiednim momencie usunie przegrody, lub też przybliży dwie części masy na właściwą odległość do siebie.

Czy będzie to zapalnik zegarowy, czy też — jak przy drugiej próbie w *Bikini*, mechanizm pobudzony z daleka impulsami radiowymi — trudno ustalić. Wiele rozwiązań jest przy dzisiejszej technice możliwych.

Skutki wybuchu

Wybuchów dotąd (koniec 1946 r.) było pięć: pierwszy doświadczalny na pustych polach stanu *Nowy Meksyk*, dwa dalsze nad *Nagasaki* i *Hiroszima*, oraz dwa ostatnie, znów doświadczalne, w atolu *Bikini*.

Możemy już więc wyrobić sobie dziś obraz, jak taki wybuch wygląda.

Z początku pojawia się oślepiający błysk, jak gdyby na niebie zrodziło się nowe słońce (rys. 37).

Istotnie temperatura w miejscu wybuchu wielokrotnie przewyższa temperaturę słońca, to też porównanie jest zupełnie ścisłe.

Następnie wzbija się w górę olbrzymia chmura (rys. 38), wysokości ponad 4500 m, lśniąca tysiącnymi odcieniami purpury i czerwieni. Chmura ta wzbija się wyżej i rozszerza się (rys. 39), tworząc najprzeróżniejsze figury na niebie; zasięg najwyższej chmury przekraczał 12000 m.

Poetycko nastrojony uczony, *A. Lawrence*, świadek wybuchu bomby w *Nagasaki*, opowiada, że oślepiający blask wynurzył się jak gdyby z łona ziemi, ziejąc olbrzymimi kręgami dymu; z niego wytrysł ku niebu purpurowy słup 3000 m wysokości, rozszerzając się z ogromną szybkością: „nie był to ani dym, ani kurz, ani chmura ognista; była to jak gdyby rzecz żyjąca, nowy gatunek bytu, który zrodził się w naszych oczach”. Słup ten następnie poszerzył się u swej podstawy, przybierając postać jakiegoś bożka, którego część dolna była brunatna, środek bursztynowy, a szczyt biały;

„był on wyrzeźbiony w olbrzymią ilość groteskowych masek, grymaśnie wykrzywionych ku ziemi”.

Do opisu dołączył *Lawrence* wykonane przez siebie rysunki, których tu jednak nie reprodukowujemy, gdyż z porównania z opublikowanymi dotąd fotografiami z Bikini widać, że jest w nich tyleż fantazji autora, co i rzeczywistości.

Ostatni wybuch podmorski w Bikini, na głębokości około 50 m (*), był nie mniej efektowny. Zaraz po wybuchu powierzchnia morza pokryła się jak gdyby kłębowiskiem chmur, niby pokryte barankami niebo (rys. 40). W środku wytrysnął słup wody, średnicy ok. 600 m i w ciągu dwu i pół minut osiągnął wysokość półtora km, przybierając postać jak gdyby głowy kobiecej (rys. 41). Niósł on na sobie szczątki okrętów.

Następnie słup wody wzrósł jeszcze wyżej i przybrał kształt olbrzymiego muchomora (rys. 42).

Gdy ta potężna masa 5-10 milionów ton wody rozproszyła się, na miejscu jej pojawiła się gęsta chmura pary, przesyconej ciałami promieniotwórczymi, która w krótkim czasie przykryła wszystkie próbie poddane okręty.

Wybuch ten spowodował olbrzymią falę, która jednak przy dojściu do atolu Bikini nie przewyższała już zwykłej fali przy silnie wzburzonym morzu.

Skutki wybuchu można podzielić na trzy kategorie:

- cieplne,
- ciśnieniowe,
- promieniotwórcze,

przy czym oczywiście każdy z nich wywołuje odpowiednie dalsze skutki materialne i fizjologiczne.

Skutki cieplne. — Jak wynika z obliczeń teoretycznych, rozpad uranu wywołuje temperaturę 10 miliardów stopni. Jeżeli nawet uwzględnić, że temperatura ta musi się następnie rozdzielić na całą masę bomby, to i tak rachunek da nam ciepłotę dziesiątków, jeśli nie setek milionów stopni, a więc temperaturę, której sobie nawet nie jesteśmy w stanie wyobrazić. Jak w tych warunkach zachowuje się materia, co dzieje się z otaczającym powietrzem i innymi ciałami — na to nikt nie jest dziś jeszcze w stanie dać odpowiedzi.

Nie ulega wątpliwości, że wszystkie więzy między-atomo-

*) Dane przybliżone. Dane ścisłe nie zostały dotąd opublikowane.

we muszą pękać, że wszystko, co leży w zasięgu tej temperatury — po prostu rozpyla się na poszczególne atomy, przemienia się w jakiś gaz o zupełnie nieznannej konsystencji. W ten sposób domy, drzewa, ciała istot żywych, w ułamku sekundy ulatniają się w dosłownym tego słowa znaczeniu, a więc przestają istnieć w jakiejkolwiek określonej formie. Na ich miejscu powstaje jakiś gaz oderwanych atomów tlenu, wodoru, węgla, żelaza, wapnia i tp. w temperaturze przewyższającej wszystko, co znaleźliśmy dotychczas na ziemi, a może nawet i na słońcu. Oczywiście w miarę oddalania się od miejsca wybuchu, temperatura maleje, ale nawet jeszcze na odległości 18 km obserwatorowie wybuchu bomby w *Bikini* mieli wrażenie, że nagle otwarły się na nich drzwi rozpalonego pieca.

Skutki ciśnieniowe. — Niezmiernie wysoka temperatura w miejscu wybuchu musi z natury rzeczy wywołać olbrzymie ciśnienia, rozprzestrzeniające się dokoła wedle nam jeszcze nieznanymi praw i przewyższające wszystko, co wywołać może wybuch najpotężniejszego nawet materiału wybuchowego. Ciśnienia te niszczą na swej drodze wszystko, czego nie dosięga wpływ owej wyżej wspomnianej fantastycznej temperatury.

Jak przy każdym wybuchu, za falą ciśnienia postępuje — groźniejsza jeszcze w skutkach — fala rozrzedzenia, powodująca ruchy powietrza, które *Morrison*, fizyk z centrum atomowego w *Los Alamos*, ocenia jako równe wiatrom, wiejącym z szybkością 800-1600 m/sek.

Jeśli chodzi o zasięg tego ciśnienia, to można tu dla pierwszej orientacji sięgnąć do wzoru, znanego z teorii wybuchu, a podającego, że promień działania wybuchu wzrasta w stosunku do trzeciego pierwiastka jego siły. Jeżeli więc zamiast 10 kg trotylu, zastosujemy ich 80 kg, to promień wybuchu wzrośnie dwukrotnie, przy 270 kg trzykrotnie, a przy 640 kg czterokrotnie i td.

Jeżeli więc uwzględnić, że wybuch bomby atomowej jest równoważny wybuchowi 20000 ton trotylu i przyjąć, że w 10 tonowej bombie mamy 5 ton trotylu, to prosty rachunek wykazuje, iż promień działania wybuchu bomby będzie okrągło 15 razy większy, niż bomby 10 tonowej.

Jest to już bardzo dużo, ale nie są to astronomiczne cy-

fry, do jakich przygotowała szeroką publiczność żadna sensacja prasa. Nie dziw więc, że pierwszy wybuch w *Bikini* był wielkim rozczarowaniem dla ogółu, który oczekiwał jakichś niebывałych kataklizmów; nie był on jednak rozczarowaniem dla fachowców.

Ażeby podać jakąś konkretną liczbę, dodajmy, że przy pracach przygotowawczych do prób w *Bikini* uczeni liczyli się z silnymi zaburzeniami w postaci gwałtownych ruchów powietrza jeszcze na wysokości 18000 m od miejsca wybuchu.

Jeżeli wreszcie chodzi o skutki promieniotwórcze, to należy uwzględnić, że przy wybuchu bomby powstaje cały szereg ciał silnie promieniotwórczych, wydzielających promienie alfa, beta i gamma. Z nich te ostatnie zwłaszcza wywołują bardzo groźne skutki fizjologiczne, jak o tym dalej będzie mowa.

Ciała te stałe i lotne, rozproszone przez wybuch w otoczeniu i przemieszane z podłożem (ziemia, lub woda), wywołują bardzo silne „zakażenie” promieniotwórczością pobliska wybuchu.

Ta właśnie nadmierna promieniotwórczość uniemożliwiła podczas prób w *Bikini* udzielenie pomocy okrętom, które przy natychmiastowej interwencji można by było jeszcze uratować. Ona to musi spowodować śmierć całej bez wyjątku załogi okrętu, nawet wybuchem nie zatopionego, jeżeli znajduje się on zbyt blisko miejsca wybuchu i nie ma osłon przeciw promieniotwórczości.

Dotknięte wybuchem okręty pozostają zakażone i niebezpieczne dla życia załogi przez szereg jeszcze miesięcy.

Jak silne mogą być te skutki, świadczy fakt, że po drugiej próbie w *Bikini* jeszcze w 24 godziny po wybuchu, obszar morski 90 km² był tak zakażony do głębokości 35 m, że przebywanie w nim było śmiertelne dla organizmu ludzkiego.

Ta promieniotwórczość tłumaczy również zjawisko „cieni w *Hiroshima*”. Na zdjęciach kinematograficznych pokazywano na objętym wybuchem terenie „cienie” postaci ludzkich, których trupów nigdy nie odnaleziono. Powodem ich pojawienia się jest zmiana wyglądu podłoża, spowodowana działaniem promieni ciał promieniotwórczych. Ponieważ zaś ciała ludzkie, zanim jeszcze ulotniło się pod wpływem gorąca i ciśnienia, stanowiło przeszkodę na drodze tych promieni, to

też tam, gdzie ono leżało, zmiana podłoża nastąpiła w stopniu mniejszym i ta właśnie różnica w wyglądzie podłoża stwarza dobrze widoczny „cień” — a ściślej mówiąc, ślad postaci człowieka.

Prócz bezpośredniego działania promieni alfa, beta i gamma, ponadto jeszcze i licznie wyzwolone neutrony oraz wysyłane przez ciała promieniotwórcze cząsteczki alfa muszą wywołać poważne przemiany w jądrach atomów pobliskich wybuchowi ciał martwych i żywych. Jak wnioskować można z opisu skutków bomby, powstają w nich mianowicie ciała sztucznie promieniotwórcze.

W ten sposób wybuch bomby atomowej wywołuje wtórne źródła promieniotwórcze w otoczeniu, co jest o tyle poważniejsze, że takich „skażonych” miejsc nie można nieczym odkażać, że zatrutego przez sztucznie promieniotwórcze pierwiastki organizmu nie można wyleczyć. Nie znamy dotychczas sposobu, by przerwać działanie ciał promieniotwórczych. Cokolwiek bowiem byśmy nie robili, w jakiejkolwiek związku chemiczne nie wchodziłyby te pierwiastki, ich własności promieniotwórcze nie ulegną żadnej zmianie i zawsze będą one wysyłały w świat swe zabójcze promienie — w niezmiennym rytmie, o natężeniu malejącym jedynie z czasem, w myśl ogólnych praw promieniotwórczości.

Jedynym sposobem, to usunięcie izotopów promieniotwórczych wraz z niepromieniotwórczymi izotopami tych samych pierwiastków (choć — wedle prasy — te promieniotwórcze ślady równie są trudne do wymycia, jak ślad krwi ofiar z kluczy Sinobrodego). W ten sposób można ostatecznie np. usunąć promieniotwórczy lantan, czy bar z powierzchni płyty stalowej (*), trudno jednak wyrugować metodami che-

*) Prasa podała ostatnio wiadomość, jakoby marynarka amerykańska miała stosować jakiś proces « odkażania », który zmniejsza czasokres śmiertelnego nasycenia okrętu promieniami do połowy lub jeszcze więcej. Proces taki może istotnie usunąć nalot zewnętrzny ciał promieniotwórczych, pochodzących z wybuchu bomby, pod warunkiem jednak, by nie były one izotopami pierwiastków, wchodzących w skład materiałów, z których zbudowany jest okręt.

micznymi promieniotwórczy fosfor z organizmu ludzkiego (*).

Owe silne działanie wybuchu bomby atomowej na będące w jej pobliżu jądra atomowe, było przedmiotem licznych obaw, czy wybuch bomby nie „rozsadzi ziemi” przez zapoczątkowanie procesu łańcuskowego, którego człowiek nie zdoła opanować.

Zapewne w tej zupełnie nowej dziedzinie trudno powiedzieć, że wiemy wszystko (**), lecz pomimo to dotychczasowy stan naszych wiadomości słusznie kazał uczonym patrzeć się ze spokojem na wynik doświadczenia.

Jak bowiem dotąd wiemy, jedynie pierwiastki ciężkie, lub też „przeładowane” pierwiastki lekkie mogą podlegać rozszczepieniu (***), przy czym te ostatnie nie występują normalnie w przyrodzie, a jedynie człowiek zdołał je wytworzyć sztucznie.

W powietrzu więc, które składa się z względnie lekkich i stałych pierwiastków, tlenu i azotu, z niezmiernie małą domieszką pierwiastków innych, wybuch niczym grozić nie może. Powierzchnia ziemi również składa się w olbrzymim procencie z pierwiastków lekkich, a jeśli chodzi o wodę, to zawiera ona — podobnie jak i parafina — dwa razy tyle atomów wodoru, co innego pierwiastka (tu tlenu, tam węgla), jest więc doskonałym pochłaniaczem neutronów. Wszelkie więc alarmy — przy obecnym stadium rozszczepiania atomów — są zupełnie nieuzasadnione.

Skutki materialne, wywołane przez bombę, są istotnie bardzo duże. Wiadomo, że w *Nagasaki* wybuch wywołał zupełne zniszczenie w promieniu przeszło 2 mil (3 i 1/4 km), że domy zostały zmiecione dosłownie z powierzchni ziemi, gdzie-niegdzie nawet znikły ślady ich poprzedniego istnienia.

W pobliżu miejsca wybuchu, siła jego przewyższa wszy-

*) Jedyną metodą, to — stosowane istotnie w lżejszych wypadkach — zmuszenie organizmu metodami fizjologicznymi do szybszej wymiany danego pierwiastka w swym wnętrzu.

**) A raczej należałoby powtórzyć za Sokratesem, iż wiemy, że nie nie wiemy.

***) Faktycznie dotąd udało się rozszczepić tylko dwa pierwiastki z najcięższych czterech — uran 235 i pluton 239.

stko, co dotąd było znane (rys. 43). Wszystkie domy w promieniu do 1 km. uległy kompletnemu zniszczeniu, w promieniu do 1 i 1/2 km były wprawdzie nieco mniej zniszczone, lecz nie nadawały się do naprawy, a w promieniu wreszcie do 4 km uległy uszkodzeniu (*). Domy z cegieł oraz domy o szkieletach stalowych, wypełnionych ceglami, okazały się niezmiernie wrażliwe na wybuch. Również i najsilniejsze z wszystkich budowle żelbetonowe uległy poważnym uszkodzeniom. Ich mury oparły się co prawda fali ciśnieniowej, lecz ściany wewnętrzne i sufity runęły, a całe wnętrze przedstawiało żalosny widok rumowiska. Schrony przeciwlotnicze natomiast, za wyjątkiem bardzo lekkich, wytrzymały działanie bomby.

Działanie na flotę wojenną było również bardzo silne. Podczas pierwszej próby wybuch zmiotł całą superstrukturę okrętów, gnąc potężne stalowe konstrukcje, jak żdźbła słomy (rys. 44).

Wszystkie baterie, mostki dowodzenia, kominy, samoloty na pokładzie, nieopancerzone pomosty zostały kompletnie zmiecione. Jeden z obserwatorów zauważył, że okręty wyglądały tak, jak gdyby powróciły z podróży do piekła.

Powstało wiele pożarów materiałów pędnych i prochów.

Natomiast silne płyty pancerne w zupełności oparły się nawet bliskiemu stosunkowo wybuchowi bomby (400 m). Nawet tam, gdzie zostały one wgięte lub wygięte przez olbrzymie ciśnienia, nie przestały one dalej ochraniać okrętu i te jego części, które były nimi ostonięte, poniosły stosunkowo najmniejsze szkody.

Przy wybuchu podwodnym (druga próba) sprawa przedstawiała się nieco inaczej, gdyż niektóre pancerniki zatonęły pod wpływem wybuchu. Nie należy jednak zapominać, że były to przeważnie typy starsze, że pancerz ochrania okręt do pewnej tylko głębokości i że wreszcie budowa pancernika nie przewidywała tak znacznych ciśnień od dołu.

Skutki fizjologiczne są to w pierwszym rzędzie normalne skutki wysokiej temperatury i ciśnienia, towarzyszące każde-

*) Opis ten z natury rzeczy tylko schematyczny. Jak bowiem przy każdym wybuchu, istnieją współśrodkowe pasy silnych zniszczeń, przecięte cienkimi pasmami, gdzie uszkodzenia są znacznie mniejsze.

wa „skończyła” flotę. W pierwszym bowiem rzędzie okręty i statki były w *Bikini* celowo znacznie bardziej zmasowane, niż w normalnym szyku bojowym, a nawet w porcie w czasie wojny.

Ponadto, jak podała prasa amerykańska, trzy zasadnicze pytania miały znaleźć odpowiedź w próbach w *Bikini*:

a) Jaka ma być budowa okrętu wojennego, by uczynić go jak najmniej wrażliwym na działanie bomby atomowej?

b) Jak należy grupować okręty poszczególnych typów na morzu i w portach, by skutki wybuchu zredukować do minimum?

c) Ile trzeba przewidzieć baz morskich i baz naprawczych (doków) i jak one mają być zorganizowane?

Dla tego zasadniczego celu była dostosowana cała organizacja próby. To też dla każdego, kto choć trochę zna się na metodzie organizowania wojskowych prób badawczych, nie ważnym jest, ile zatoneło okrętów, lecz w jakich okolicznościach one zatoneły i jakie stąd wyciągnięto wnioski.

Tego oczywiście prasa nie powie, starając się zatopić istotę rzeczy w gadulstwie nieważnych, choć frapujących szczegółów.

Niewiele więc wiemy dziś jeszcze o istotnych wnioskach z prób w *Bikini*. Dwie tylko rzeczy zdają się być już stwierdzone: po pierwsze to, że pancernik i to duży, silnie osłonięty płytami pancernik, któremu tyle już razy fałszywi prorocy przepowiadali zmierzech i wykreślenie ze stanu floty — i tym razem wyszedł z próby zwycięsko, wykazując przedziwną odporność przeciw działaniu bomby atomowej.

Ten więc okręt nadal prawdopodobnie pozostanie trzonem floty wojennej, oczywiście odpowiednio udoskonalony, by uczynić go jeszcze mniej wrażliwym na działanie wybuchowe, promieniotwórcze i podwodne bomby atomowej.

Druga nauka to fakt, że wszystko, co znajduje się poza osłoną pancerza okrętu, ulega kompletnemu zniszczeniu. Sylwetka więc okrętu wojennego będzie musiała ulec zasadniczej przemianie.

Ponieważ zaś program budowy floty Stanów Zjednoczonych został wstrzymany do czasu uzyskania wyników prób w *Bikini*, więc — przy amerykańskim tempie pracy — za

lat już kilka ujrzymy prawdopodobnie nową, potężną flotę wojenną tego kraju, mogącą z małymi tylko stratami stawić czoła bombie atomowej.

Jeśli chodzi o wojnę naziemną, to w pierwszym rzędzie narzuca się działanie na komunikacje wojsk walczących, jako najbardziej prawdopodobne w obecnym stanie rzeczy zastosowanie bomby atomowej. Wobec jednak olbrzymich jej kosztów, użycie jej do tego celu będzie miało sens jedynie wtedy, gdy duży odcinek frontu wisi na jednym lub kilku tylko przejściach przez poważną przeszkodę i gdy czasowe odcięcie armii walczącej od jej tyłów może decydująco zażywić na wyniku bitwy.

Działanie na dowództwa wyższe również będzie możliwe, lecz odpowiednie ich zamaskowanie i rozproszenie zawsze będzie dość skuteczną obroną bierną.

Działanie bomby atomowej na oddziały walczące mało jest w obecnym stanie rzeczy prawdopodobne. Duże rozproszenie wojska w terenie w dzisiejszej wojnie czyni je celem stosunkowo mało wrażliwym na działanie bomby.

Ostatecznie dobrze umieszczony jej wybuch może wytrącić całkowicie z walki w najlepszym razie nacierającą lub broniącą się brygadę. Ale, czy w wojnie o takiej skali, jaka odpowiada jedynie obecnie możliwej wojnie kontynentów, skutek ten, poza bardzo wyjątkowymi okolicznościami, wyrówna ogromne szkody i śmiertelne ryzyko użycia tej bomby? Przecież dobra obrona przeciwlotnicza dywizji, wzmocniona jeszcze przez nowe, potężne środki i wyposażona w dalekośne radary, lub też silne lotnictwo, odpowiednio uzbrojone do walki z bombą atomową, mogą zniszczyć ją po drodze, nad terenem nieprzyjaciela, kładąc mu w ten sposób ginąć od miecza, którym chciał walczyć!

O działaniu bomby atomowej na broń pancerną nie wiemy. Wnioskując jednak przez analogię z doświadczeń nad okrętami wojennymi w *Bikini*, należy przypuszczać, że bomba atomowa zniszczy jedynie czołgi najbliższe wybuchowi (w promieniu do 500 m, może do 1 km), nie czyniąc poważnych szkód czołgom dalszym. Należyte więc rozproszenie czołgów w szyku bojowym i na postoju będzie i tu najlepszą ich obroną.

Pocisk artyleryjski atomowy na razie — przy obecnym

stanie sprawy — nie jest jeszcze możliwy. Przecież minimum masy, która może wybuchnąć, wynosi 0,7 kg, co by nie było samo w sobie niczym strasznym. Uwzględniając jednak konieczność umieszczenia uranu czy plutonu w moderatorze, otrzymuje się ciężary tak znaczne, że nie dają się one pomieścić w pocisk działa polowego nawet dużego kalibru (*).

Dopóki więc nauka nie usunie tych trudności — a na to na razie się nie zanosz — o użyciu mas rozpadowych w artylerii trudno marzyć.

Tak przynajmniej przedstawia się sprawa dziś. Jak później dalsza ewolucja jutro, trudno powiedzieć, zależy to bowiem od rozwoju fizyki atomowej. W każdym razie dążenie do zmniejszenia masy krytycznej, a tym samym do umożliwienia wybuchu mniejszych niż dotąd ilości uranu, czy plutonu (a może jakiegoś innego atomu, którego własności dziś jeszcze nie są nam znane) oraz do uproszczenia sprawy moderatora będą przyświecać pracom uczonych. A z chwilą realizacji tych postulatów, zastosowanie bomby atomowej do walki w polu stanie się zupełnie możliwe.

Jest to wszystko muzyką dalekiej przyszłości. Ale nawet i wtedy, a tym bardziej i dziś, słusznymi w zupełności wydają się słowa marszałka *Alexandra*:

„Bomba atomowa nie zastąpi sił lądowych, morskich i powietrznych, a jedynie ich użycie i organizacja będą musiały ulegać odpowiedniej ewolucji w miarę jej rozwoju”.

Zastosowania lecznicze

Masowa produkcja plutonu wywołała efekt uboczny, ale dla dobra człowieka napewno nie mniej ważny, a mianowicie opanowanie produkcji sztucznych, na ziemi nie istniejących pierwiastków i to na skalę przemysłową.

Od dawna już wykrycie sztucznie promieniotwórczych pierwiastków, jak radiofosfor, radiochlor, radiowęgiel, radiosód, radiopotas i radiojod, których średnie okresy życia mierzy się godzinami, a nawet dniami (a w wypadku radio-

*) Przy użyciu natomiast napędu raketowego zastosowanie bomby atomowej do walki naziemnej i dziś jest możliwe. O tej właśnie bombie mówiliśmy wyżej.

węgla wiekami) — nęciło lekarzy i biologów, ażeby te nowe pierwiastki zastosować dla celów nauki i lecznictwa.

Zastosowania te iść mogą w trzech kierunkach: pierwszym, to zastąpienie drogiego radu przez owe nowe pierwiastki, których produkuje może być — przy odpowiednim jej opanowaniu — znacznie tańsza.

Drugim kierunkiem, to zastosowanie promieniotwórczych izotopów tych pierwiastków, z których składa się ciało ludzkie, jako t.zw. wskaźników. Ponieważ własności chemiczne takiego np. radiojodu są identyczne ze zwykłym jodem, to też towarzyszy on mu we wszystkich jego kolejach losów w organizmie ludzkim, czy zwierzęcym. Jego promieniotwórczość natomiast zezwala na śledzenie jego wędrówki w ciele człowieka, czego ze zwykłym jodem skutecznie nie można. W ten sposób radiojod jest wskaźnikiem, który w każdej chwili podaje, jak zachowuje się jod, taką czy inną drogą wprowadzony do organizmu.

Ze względu na bardzo duży wpływ, jaki jod wywiera (za pośrednictwem gruczołu tarczycowego) na całość przemian w organizmie, stanowi radiojod doskonały środek dla poznania fizjologicznego działania jodu, co ma dla całokształtu naszych wiadomości o pracy organizmu człowieka bardzo duże znaczenie.

To samo tyczy się i radiofosforu dla badania utworów kostnych oraz radiowęgla, ciała niezmiernie ważnego, skoro węgiel stanowi podstawę wszystkich ciał organicznych i t.p.

Wreszcie trzecie zastosowanie, to wprowadzenie ciał sztucznie promieniotwórczych do organizmu dla wywołania ściśle określonych skutków leczniczych, nie przez działanie z zewnątrz, poprzez skórę, ale w organizmie samym, przy czym krótki średni czas życia większości tych sztucznie promieniotwórczych pierwiastków pozwala dokładnie określić czas ich działania.

Szczególnie wiele obiecują sobie lekarze po tych sztucznie promieniotwórczych pierwiastkach w walce z rakiem; lecz nie jest to zastosowanie jedyne i prasa przynosi coraz nowe informacje o użyciu sztucznie promieniotwórczych pierwiastków do zwalczania przeróżnych zachorzeń.

Dotychczasowe metody otrzymywania tych pierwiastków przy pomocy cyklotronu były bardzo kosztowne, a ilości

otrzymywane minimalne. Natomiast przy produkcji plutonu (lub przy zastosowaniu jej metody nad innymi ciałami) pierwiastki te występują jako produkty rozpadu w ilościach, jak na potrzeby lecznictwa, znacznych.

Tyczy się to zwłaszcza radiowęgla C 14, który dotąd otrzymywać można było jedynie w ilościach mikroskopijnie małych, a który obecnie jest stosunkowo tanim produktem fabryk plutonowych (*).

Nie są to tylko rozważania teoretyczne. Jak bowiem niedawno doniosła prasa, zakłady energii atomowej dostarczyły już znacznych ilości ciał sztucznie promieniotwórczych dla celów leczniczych.

Energia atomowa w przemyśle

Jeśli chodzi o użycie sił wewnątrz-atomowych do pracy pokojowej, a więc do napędzania wszelkiego rodzaju silników, jak o tym pisze prasa, to niewątpliwą rację mają ci uczeni, którzy przestrzegają przed przesadnym optymizmem.

Na drodze stoją bowiem duże, poważne trudności ekonomiczne i techniczne.

Jeśli chodzi o wojnę, to cóż z tego, że dwie bomby kosztowały 2 miliardy dolarów, jeśli przez to skróciło się wojnę conajmniej o 3 miesiące! Wydatki, poniesione na ten cel, opłaciły się wielokrotnie.

W czasie pokoju jednak, choć jeden kilogram uranu U 235 dostarcza energii równej 2 i 1/2 milionom kg węgla, to jednak — jeśli wydobycie tej ilości węgla będzie tańsze, niż

*) Jedna jego milicurie (tj. taka ilość ciała promieniotwórczego, w której w ciągu 1 sekundy ulega rozpadowi 37,1 milionów atomów, tj. tyleż, ile w jednym miligramie radu) kosztuje 367 dolarów.

Radiowęgiel C 14 jest ciałem o tyle ciekawym, że jego średni okres życia wynosi dziesiątki tysięcy lat, jest więc ciałem promieniotwórczym, o praktycznie niesłabnącej sile. Jego moc promieniotwórcza jest mniej więcej 3 razy mniejsza od radu, który choć sam słabszy od C 14, wydziela jednak bardzo silnie promieniotwórcze produkty rozpadu, tak że w sumie w ciągu sekundy w miligramie radu (wraz z jego produktami rozpadu) ulega rozpadowi tyleż atomów, co w 3 miligramach węgla C 14.

produkuje tego kilograma U 235, węgiel będzie mimo wszystko ekonomiczniejszy (*).

Pierwszym więc warunkiem zastosowania energii wewnątrz-atomowej dla celów przemysłowych, czy komunikacyjnych, to potanieńcie metod fabrykacyjnych.

Możliwości są tu olbrzymie i postęp niewątpliwie będzie szybki.

Ale to nie wszystko. Uranu jest przecież na ziemi stosunkowo mało, złoża jego są skąpe i ubogie, wydobycie jego zawsze więc będzie kosztowne. Nauka musi więc zacząć poszukiwać i innych pierwiastków, poza uranem, które by — podobnie jak U 235 i pluton — zdolne były do rozszczepienia, połączonego z wydzielaniem energii. Trudno dziś przewidzieć, jaki to będzie pierwiastek. Można jednak mieć uzasadnione nadzieje, że dalszy postęp nauki ciała takie wykryje, lub też wskaże, jak je sztucznie wytwarzać.

Z pełną ufnością można więc oczekiwać, że nauka w niedługim już czasie odsłoni przed człowiekiem nowe, a tańsze źródła energii wewnątrz-atomowej.

Przezwyciężenie natomiast zagadnień technicznych, związanych z wykorzystaniem tej energii, będzie znacznie trudniejsze.

Pomyślmy — temperatura wybuchu nitrogliceryny jest rzędu 3 tysięcy stopni, uranu 235 zaś — 10 miliardów stopni,

*) Jak podaje literatura amerykańska, użycie uranu 235 opłacałoby się dopiero wtedy, gdyby koszt 1 kg tej substancji wynosił:

przy cenie węgla 6 dolarów za tonę	dolarów 20000
15 dolarów za tonę	» 33000
przy cenie gazu ziemnego 25 centów za 1000 stóp ³	» 22000
1 dolar za 1000 stóp ³	» 88000
przy cenie gazoliny 10 centów za galon	» 57000
25 centów za galon	» 17000

Na razie jeszcze ceny uranu 235 są znacznie wyższe.

Sprawa kosztów nie odgrywa roli jedynie tam, gdzie inne cechy energii atomowej, np. wysoka ilość energii wyzwolonej w małej przestrzeni (bomba atomowa), lub np. mała waga, mają znaczenie decydujące, lub też, gdzie łatwiej dowieźć małe ilości uranu, niż duże ilości węgla (np. kraje arktyczne).

Są to jednak wyjątki. Dla szerszych zastosowań bowiem sprawa kosztów jest zagadnieniem decydującym.

~ a więc przeszło milion raz większa. A jednak ile lat minęło, zanim nitroglicerynę, połączoną z nitrocelulozą, zmuszono w postaci prochu bezdymnego do pracy nie rozsadzania, ale miotania pocisków?

Napęd rakiety, który wykorzystuje przecież tylko siłę wybuchu zwykłych reakcji chemicznych, wciąż jeszcze jest w powijakach i stosuje dotychczas jedynie reakcje o niskiej stosunkowo temperaturze spalania, przebiegające łagodnie, choć znacznie mniej energetyczne, niż to, co mógłby dać np. wybuch „gazu piorunującego”, tj. mieszaniny tlenu z wodorem.

A tu trzeba zmusić do pracy użytecznej, a nie do niszczenia, reakcje o temperaturach, przekraczających miliony razy wszystko; co istnieje na ziemi, ujarzmić potężne przemiany materii, wyzwalające niesamowite siły, o jakich niedawno nawet marzyć nie śmieliśmy, wywołujące skutki, jakich nawet sobie dobrze jeszcze nie uprzytomniamy!

Jakie naczynie to wytrzyma, jakie ściany nie ulegną całkowitemu wypaleniu przy tej fantastycznej temperaturze, jaki silnik nie rozleci się nie w drzazgi już, ale wręcz w atomy? Jak dozować ilości tak drobne, by ich skutki nie były zabójcze dla otoczenia (*), jak chronić resztę „paliwa atomowego” od wybuchu z chwilą rozpadu pojedynczego „zastrzyku”, jak wywołać wybuch we właściwym ułamku sekundy, jak zabezpieczyć się przed śmiertelnym działaniem promieniotwórczym, wywołanym przez rozszczepienie atomów, co wreszcie uczynić z niesłychanie niebezpiecznymi dla otoczenia bardzo silnie promieniotwórczymi „popiołami” procesów rozpadowych (**) — oto wszystko pytania, na jakie technika będzie jeszcze musiała odpowiedzieć, zanim ujrzymy pierwszy silnik, poruszany energią wewnątrz-atomową.

A każde z tych pytań, to poważny problem techniczny sam w sobie.

*) I jak wogóle spowodować wybuch tych drobnych ilości, skoro wiemy, że są one poniżej masy krytycznej, że więc wybuchnąć nie mogą.

**) Przecież nie można ich ani wyrzucić na pole, bo zatrują ziemię i ludzi obok przechodzących, zrzucić «na kupę», bo wiatr je rozwieje i woda deszczowa uniesie ze sobą, wrzucić do rzeki, bo ją zakażą. Jedyne dotąd wyjście, to zakopać głęboko w ziemi, w miejscu doskonale chronionym.

Słusznie więc przestrzega fizyk atomowy francuski *Thibaud*, że energii atomowej nie da się użyć w formie pigułek dla zasilenia silników samochodowych, czy palenisk parowozów. W pierwszym bowiem rzędzie, przy zbyt małej masie, reakcja rozpadowa nie może nastąpić, a ponadto, gdyby nawet trudność tę udało się pokonać, to wspomniane wyżej skutki promieniotwórcze byłyby — bez potężnych, a więc ciężkich urządzeń ochronnych — zabójcze dla kierowcy.

Co prawda od czasu do czasu prasa donosi o domorostym wynalazcy, który skonstruował samochód atomowy, stosując przeróżne dziwne ingrediencje, jak np. rtęć (ulubiony metal alchemików). Pech tylko chce, że zawsze w przeddzień próby „tajemnicze siły” niszczą instalacje, czy kradną model.

Otóż nie ulega wątpliwości, że przy olbrzymich siłach, jakie są konieczne, aby jądro atomu zmusić do rozpadu, żaden prywatny wynalazca nie może dokonać żadnego sensacyjnego w tym dziale fizyki odkrycia. Do tego potrzebne są potężne, niezmiernie kosztowne instalacje, wielkie, odpowiednio urządzone pomieszczenia, niesłychane ilości zużytej energii elektrycznej. Na to dziś nie może sobie pozwolić żadna najbogatsza nawet osoba prywatna, a jedynie zakład badawczy na wielką skalę, finansowany i utrzymywany przez państwo.

Wszyscy więc wynalazcy, którzy zapewnniają, że odkryli nowe, kieszonkowe źródła energii atomowej, nie eksploatują dla swoich celów bynajmniej energii atomowej, ale jeszcze od niej bogatsze, nieprzebrane źródła głupoty ludzkiej, co to dla celów istotnie zabiegu wartych szczeni grosza, ale ostatni pieniądz wysupła z sakiewki dla wydrwigrosza, który mignie przed oczyma mirażem szybkiego wzbogacenia się.

O użyciu energii atomowej, jako siły napędowej dla celów przemysłowych, dziś myśleć za wcześnie. Do tego musi nauka pokonać jeszcze wiele trudności i to trudności zasadniczych.

Nie zapomnijmy jednak, że postęp techniki jest z dnia na dzień szybszy i że to, co dawniej wymagało lat, dziś dokonuje się w miesiącach. A potężne zasoby i środki, skumulowane w okresie wojny, walcie przyczynią się do przyspieszenia tempa prac. To też to, co dziś wydaje się niemożliwym do zrealizowania, jutro stać się może dobrem powszechnym

ludzkości. Niewątpliwie zaś wysiłki uczonych pójdą w kierunku znalezienia drogi dla przemysłowego wykorzystania energii rozszczepienia atomu.

Zanim jednak do tego dojdzie, znamy już dziś źródło energii atomowej, które wydaje nieprzebraną ilość energii — a mianowicie produkcja plutonu.

Jeżeli przypomnimy sobie, że wytworzenie 1 kg plutonu dostarcza okrągło 1 milion KWh tj. tyleż, co spalanie przeszło 100 ton węgla, to — licząc się nawet z nieuniknionymi stratami — możemy śmiało przyjąć, że 1 z kg uranu otrzymujemy przy tym procesie co najmniej tyleż energii, ile dotąd z kilkudziesięciu t on węgla.

Energia ta dotąd szła na marne, unoszona przez wodę chłodzącą. Zdaniem wielu uczonych można by ją już dziś wykorzystać do napędzania wielkiej centrali elektrycznej, zastępując nią energię spalania węgla, czy też spadku wody.

Największą trudnością jej zastosowania to fakt, że nie znaleziono dotąd sposobu dla prowadzenia reakcji w bateriach uranowych przy temperaturze dostatecznie wysokiej dla praktycznego spożytkowania dostarczonego ciepła w sposób, dotąd przyjęty w technice.

Nie jest to jednak przeszkoda zasadnicza. Z jednej bowiem strony wysiłki uczonych idą w kierunku zwiększenia temperatury pracy baterii plutonowej, z drugiej zaś wiemy, że technika może już dziś posługiwać się i mniejszymi różnicami temperatur, niż między parą przegrzaną, a otaczającym powietrzem, jak to ma miejsce w silnikach parowych (*). Wszystko więc sprowadza się do zagadnienia kosztów instalacji i produkcji; w tej jednak dziedzinie postępy techniki są niezmiernie szybkie, wiele więc przemawia za tym, że w najbliższej już przyszłości wytwarzanie plutonu stanowić będzie potężne źródło taniej energii.

To też niektórzy uczeni, jak *Thibaud* i *Oliphant*, projektują „palenisko” plutonowe, które przy wymiarach kostki o boku 2,5 m, byłoby zdolne produkować 500000 KWh dziennie

*) Po pierwszej wojnie światowej słynne były próby fizyka francuskiego *Claude'a* wykorzystania różnicy temperatur kilkunastu zaledwie stopni między powierzchnią, a głębią morza. Wyniki były zupełnie dodatnie, na przeszkodzie do realizacji stanęła jedynie sprawa kosztów.

(silnik ten miałby więc dzielność 30000 koni), zużywając do tego celu niecałe 2 kg uranu, zamiast przeszło 60 ton węgla!

Jedna tylko przy tym wszystkim jest trudność, a mianowicie konieczność stosowania murów ochronnych dla pochłonięcia szkodliwej promieniotwórczości oraz szeregu instalacji dodatkowych, zezwalających na dalo-kierowanie, na bezpieczną wymianę zużytych prętów uranu na nowe, a ponadto liczne urządzenia kontrolne i alarmowe, by zabezpieczyć otoczenie przed szkodliwym działaniem promieniotwórczych gazów, lub pyłków, unoszonych przez prądy powietrzne. Konieczne jest dalej jakieś miejsce dla „dojrzewania” wyjętych prętów, które już przestały być uranem, a stały się plutonem; w tym bowiem okresie pręty te wydzielają szczególnie intensywne promienie, zabójcze dla organizmu człowieka. Wreszcie — jak wspomnieliśmy już o tym wyżej — należy rozwiązać pytanie, gdzie usuwać promieniotwórcze „popioły”, tj. to co zostanie z uranu i produktów rozpadu po wydzieleniu plutonu.

Wszystko to powoduje, że całość urządzenia musiałaby być nieproporcjonalnie ciężka (*), a obsługa wymagałaby wysoce wykwalifikowanego personelu, co czyni mało prawdopodobnym szerokie rozpowszechnienie tego rodzaju silników. Raczej należy sądzić, że do czasu, gdy postęp techniki nie usunie wspomnianych trudności, silniki plutonowe stosować się będzie raczej w wielkich centralach elektrycznych i co najwyżej na bardzo dużych statkach, czy też okrętach wojennych.

Jakby nie było, w każdym razie wiele przemawia za tym, że w bliskim czasie przy wyrobie plutonu produktem głównym będzie — naodwrot niż obecnie — energia, a produktem ubocznym pluton, tak że może powstaną trudności, co wogóle z nim zrobić.

Nie znamy dotąd pokojowych zastosowań tego metalu. Ponadto byłoby rzeczą niezmiernie niebezpieczną puścić na rynek produkt o tak dużej zdolności rozszczepiania się, a więc o tak znacznej sile wybuchowej.

*) Silnik 130 konny ważyłby 50 ton, podczas gdy takiż silnik lotniczy waży okrągło 1000 razy mniej!

Już dziś więc uczeni mówią o jego „denaturowaniu” tj. o wypuszczeniu go na rynek w postaci, zupełnie pozbawionej własności wybuchowych. Teoretycznie jest to możliwe (*), czy jednak i jak uda się to praktycznie zrealizować — nie wiemy.

Wreszcie przed zastosowaniem energii, powstającej przy wyrobie plutonu, dla celów pokojowych pokonać należy jeszcze jedną trudność: uzyskanie pewności, że wyjawiona tajemnica jego produkcji nie zostanie użyta dla celów wojennych przez gotujące się do agresji państwo. A — jak dotąd — jest to zadanie niepomiarne trudniejsze, niż to, jakie stało przed zespołem uczonych, którzy przystępowali do produkcji bomby atomowej.

*) Np. przez przemieszanie go z jakimś innym (a dotąd nieznanym) izotopem plutonu, o małej promieniotwórczości i pozbawionym — podobnie jak uran 239 — własności rozszczepiania się.

X.

UWAGI KOŃCOWE

Zasadniczym surowcem, który dotąd może dostarczyć energii atomowej, to uran. Ponieważ metal ten miał dotąd stosunkowo niewielkie zastosowanie, to też złoża jego rud nie są dokładnie rozpoznane. Ze złóż dotąd zbadanych, pierwsze miejsce zajmuje Kanada, drugie Stany Zjednoczone (Colorado), trzecie Wielka Brytania, czwarte Czechy (*), piąte Norwegia, szóste Kongo. Czy i jakie złoża znajdują się na Uralu — nie wiemy. Żelazna kurtyna wiadomości tych nie przepuściła dotąd na zewnątrz.

Ostatnio podano do wiadomości w Stanach Zjednoczonych, że prócz uranu również i tor (**) może służyć do wytwarzania energii atomowej. Sam co prawda nie podlega — jak dotąd stwierdzono — rozszczepieniu, przy przemieszaniu jednak z odpowiednią ilością uranu staje się on „atomowo-wybuchowy”.

Złoża toru znajdują się w pierwszym rzędzie w Indiach, następnie zaś w Brazylii.

Czy inne pierwiastki mają te same własności — nie wiemy. Jesteśmy przecież dopiero u początku drogi, trudno więc przepowiedzieć, dokąd nas ona zawiedzie. Czyż ktoś ze współczesnych *Volty* mógł przewidzieć, że z jego doświadczeń nad udem żabim wyrosną potężne zakłady elektryczne, stacje ra-

*) Blenda smolista w *Jachimowie*, z której *Maria Curie Skłodowska* wydobyła pierwszy rad.

**) Podobnie, jak i uran, « ojciec » rodziny ciał promieniotwórczych.

diowe i owe tysiączne urządzenia elektryczne, które tak dalece weszły w przyzwyczajenie nowoczesnego człowieka, iż większość ludzi nie może sobie wyobrazić bez nich cywilizowanego życia.

Choć więc nie wiemy, co nam przyniesie przyszłość, jedno jest pewne: droga do wykorzystania energii, zawartej w samej materii, została już zapoczątkowana i nie długi jest czas, gdy człowiek przestanie się martwić wyczerpywaniem się źródeł ropy, czy węgla. Zamiast bowiem wyjadać rodzynki z ciasta, zaczniemy jeść ciasto samo.

Jeszcze więc krok, a rozewrą się na oścież tajemnicze wrota Sezamu i człowiek będzie mógł czerpać z nich pełną garścią. Nic nie będzie stało wtedy na przeszkodzie, by każdy człowiek mógł w pełni zaspokoić wszystkie swe potrzeby, nie... poza nieudolnością człowieka, małością jego duszy.

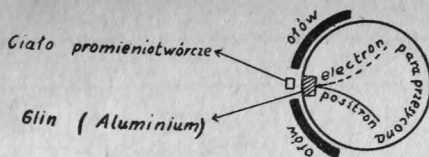
Dopóki bowiem miłość bliźniego, szacunek dla godności ludzkiej, ów miraż czterech wolności tak dziś zda się odległej Karty Atlantyckiej nie zapanuje na świecie, dopóty potężne źródła energii wewnątrz-atomowej będą raczej narzędziem ujarzmnienia człowieka, niż środkiem jego uwolnienia od przyniatającej go do ziemi walki o byt, a więc wyzwolenia z pęt materii ludzkiego ducha.

Można by więc zastosować tu sparafrazowane słowa Mickiewicza: ile ulepszyć dusze wasze, o tyle powiększyć władanie wasze nad ślepych siłami przyrody.

Z R Ó D Ł A

- Barański Władysław inż. Od bomby do atomu (« *Uwaga Nadchodzi* » listopad 1945).
- Barański Władysław inż. Od atomu do bomby (« *Uwaga Nadchodzi* » grudzień 1945).
- Barański Władysław inż. Dwa oblicza atomu (« *Uwaga Nadchodzi* » luty 1946).
- Barański Władysław inż. Pluton (« *Uwaga Nadchodzi* »), marzec 1946).
- Barański Władysław inż. U 235 (« *Uwaga Nadchodzi* ») czerwiec 1946).
- Berthoud A. « *Matière et atomes* ». Paris, 1932.
- Boll Marcel « *L'atome source d'énergie* ». Paris, 1945.
- Born Max « *Atomic Physics* » London and Glasgow, 1944.
- Descamps Alphonse « *La bombe atomique* ». Bruxelles br.
- Dirac P.A.M. « *The principles of quantum mechanics* » Oxford, 1935.
- Eddington Arthur « *New pathways in science* ». Cambridge, 1944.
- Giorgi Giovanni « *La frantumazione dell'atomo* ». Roma, 1946.
- Jervis T. « *La materia* ». Milano, 1942.
- Persico Enrico « *Fondamenti della meccanica atomica* ». Bologna, 1945.
- Pession Giuseppe « *La bomba atomica* ». Milano-Roma br.
- Saunders B. C.
and Clark R.E.D. « *Order and chaos in the world of atoms* » London 1942.
- Thibaud Jean « *Énergie atomique et univers* ». Lyon, 1945.
- oraz artykuły w czasopismach amerykańskich, angielskich, francuskich i włoskich.

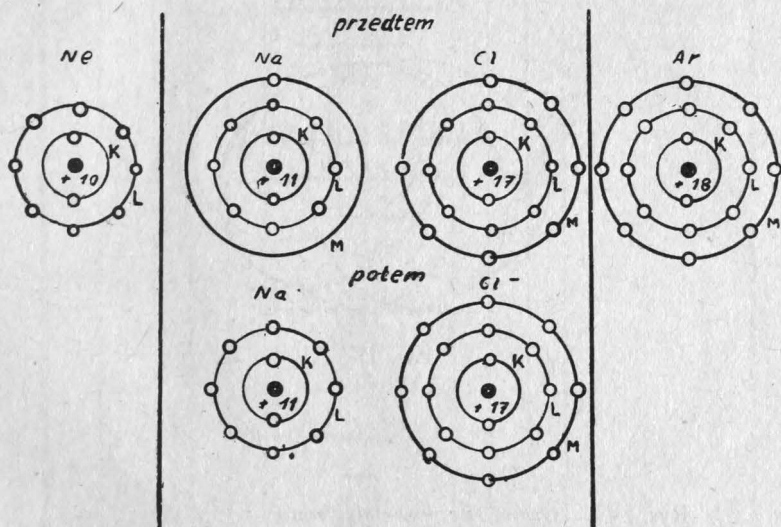
RY S U N K I



Rys. 13

Rys. 13. — *Przemiana energii w materię.*

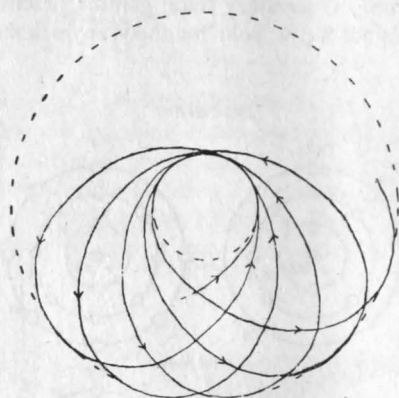
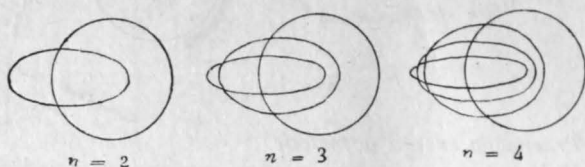
Kamera Wilsona w postaci kuli z parą przesyconą, przesłonięta grubą tarczą z ołowiu, aby ochronić ją od przenikania promieni z zewnątrz; w płycie tej zostawia się drobny otwór, zwany okienkiem. W okienku umieszcza się cienką płytkę z glinu (aluminium), przed nim ciało promieniotwórcze, wysyłające promienie gamma. Uderzający foton gamma przemienia się w parę elektron-pozytron, odchylając się w polu magnetycznym każdy w inną stronę.



Rys. 14

Rys. 14. — *Zasada tworzenia się cząsteczki soli kuchennej.*

Gdy atom sodu (w środku u góry) odda swój elektron z pierścienia *M* atomowi chloru (w środku u góry), to tak pozostałe nowe zjonizowane atomy (Na^+ i Cl^- , w środku u dołu) będą miały powłokę atomową identyczną: Na^+ z neonem (na lewo u góry), Cl^- z argonem (na prawo u góry). Jednak ilość elektronów w wypadku Na^+ (10) będzie o jeden *mniej* od ładunku dodatniego jądra (+11), Na^+ będzie więc miało ładunek dodatni. Ilość elektronów Cl^- (18) będzie o jeden *większa* od ładunku jądra (+17), Cl^- będzie więc miało ładunek ujemny. Kropka w środku każdego atomu oznacza jego jądro, umieszczone obok liczby dodatnie — jego ładunek.



Rys. 15

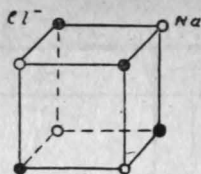
Rys. 15. — *Orbity eliptyczne elektronu* według Sommerfelda dla liczb głównych $n=2$ do $n=4$ (u góry) przy założeniu, że masa elektronu jest stała. Jeżeli jednak uwzględnić, że — zgodnie z teorią względności — masa elektronu rośnie wraz z jego szybkością, to orbita będzie musiała przyjąć kształty bardziej zawiłe, podane na rysunku u dołu.

Poziom główny	Poziom włókn	L I C Z B A M A G N E T Y C Z N A											U w a g a
		-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	
Q	7 ₀						↑↓						
	6 ₅												
P	6 ₄												nieobsadzone
	6 ₃												
	6 ₂						↓↑↓↑						niepełny
	6 ₁						↑↓↑↓↑↓						
	6 ₀						↑↓						
O	5 ₄												nieobsadzone
	5 ₃												
	5 ₂						↑↓↑↓↑↓↑↓↑↓						
	5 ₁						↑↓↑↓↑↓						
	5 ₀						↑↓						
N	4 ₃						↑↓↑↓↑↓↑↓↑↓↑↓↑↓						
	4 ₂						↑↓↑↓↑↓↑↓↑↓						
	4 ₁						↑↓↑↓↑↓						
	4 ₀						↑↓						
M	3 ₂						↑↓↑↓↑↓↑↓↑↓↑↓						
	3 ₁						↑↓↑↓↑↓↑↓						
	3 ₀						↑↓						
	2 ₁						↑↓↑↓↑↓↑↓						
L	2 ₀						↑↓						
	1 ₀						↑↓						
K													

Rys. 16

Rys. 16. — Schematyczna budowa powłoki elektronowej uranu

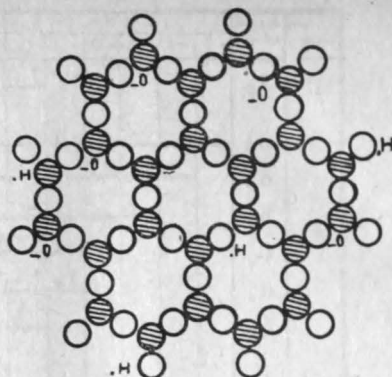
Strzałki oznaczają skręt (spin) elektronu: do góry dodatni i w dół ujemny. Elektrony na poziomie 6₂ umieszczone są jedynie przykładowo. Możliwe jest i inne ich umieszczenie, zgodnie z zasadą Pauli'ego.



Rys. 17

Rys. 17. — Budowa przestrzenna soli kuchennej (Na Cl).

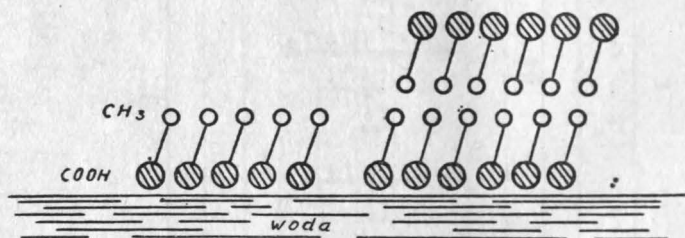
Jony (dodatnie) sodu i (ujemne) chloru tworzą przestrzenną siatkę kryształu soli, złożonego z wzajemnie przyciągających się jonów.



Rys. 18

Rys. 18. — Budowa przestrzenna kryształu lodu.

Kółka zakreskowane przedstawiają jony (ujemne) tlenu O^- , kółka puste jony (dodatnie) wodoru H^+ .

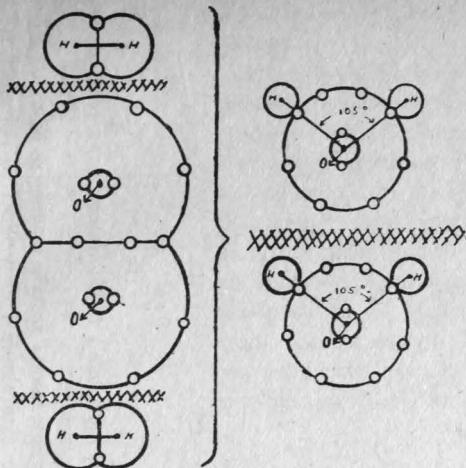


Rys. 19

Rys. 19. — Przestrzenna budowa warstwy stearyny

Gdy stearynę w stanie stopniowym wylać cienką warstwą na powierzchnię wody, każda cząsteczka jej obróci się do wody tym końcem, na którym jest grupa COOH , oddali się zaś od wody końcem z grupą CH_3 . Kąt, jaki te cząsteczki zawierają będą z wodą, będzie ostry, w wyniku sił przyciągania między cząsteczkami COOH i wody (H_2O) i odpychania między grupą CH_3 , a cząsteczkami H_2O .

Następna warstwa stearyny (w prawej części rysunku) ułoży się na dolnej tak, że cząsteczki CH_3 jednej warstwy przylegać będą do cząsteczki CH_3 warstwy drugiej



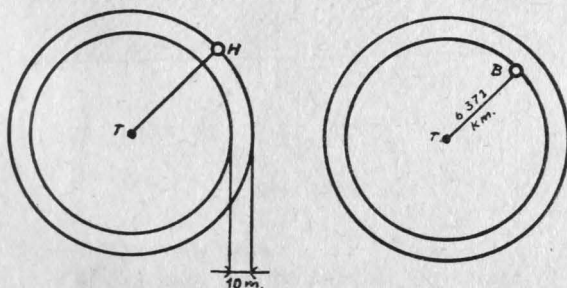
Rys. 20

Rys. 20. — Źródła energii chemicznej

Dwie cząsteczki wodoru H_2 i cząsteczka tlenu O_2 (na lewej stronie rysunku) łącząc się ze sobą (na prawej stronie rysunku) tworzą dwie cząsteczki wody H_2O . Przez to połączone elektrony przybliżają się do jąder atomowych, wydzielając energię, w postaci « ciepła tworzenia » cząsteczki pary wodnej.

Na rysunku kropka pełna oznacza jądro atomowe, kółko puste elektron. Położenie elektronów na pierścieniach podane jest schematycznie.

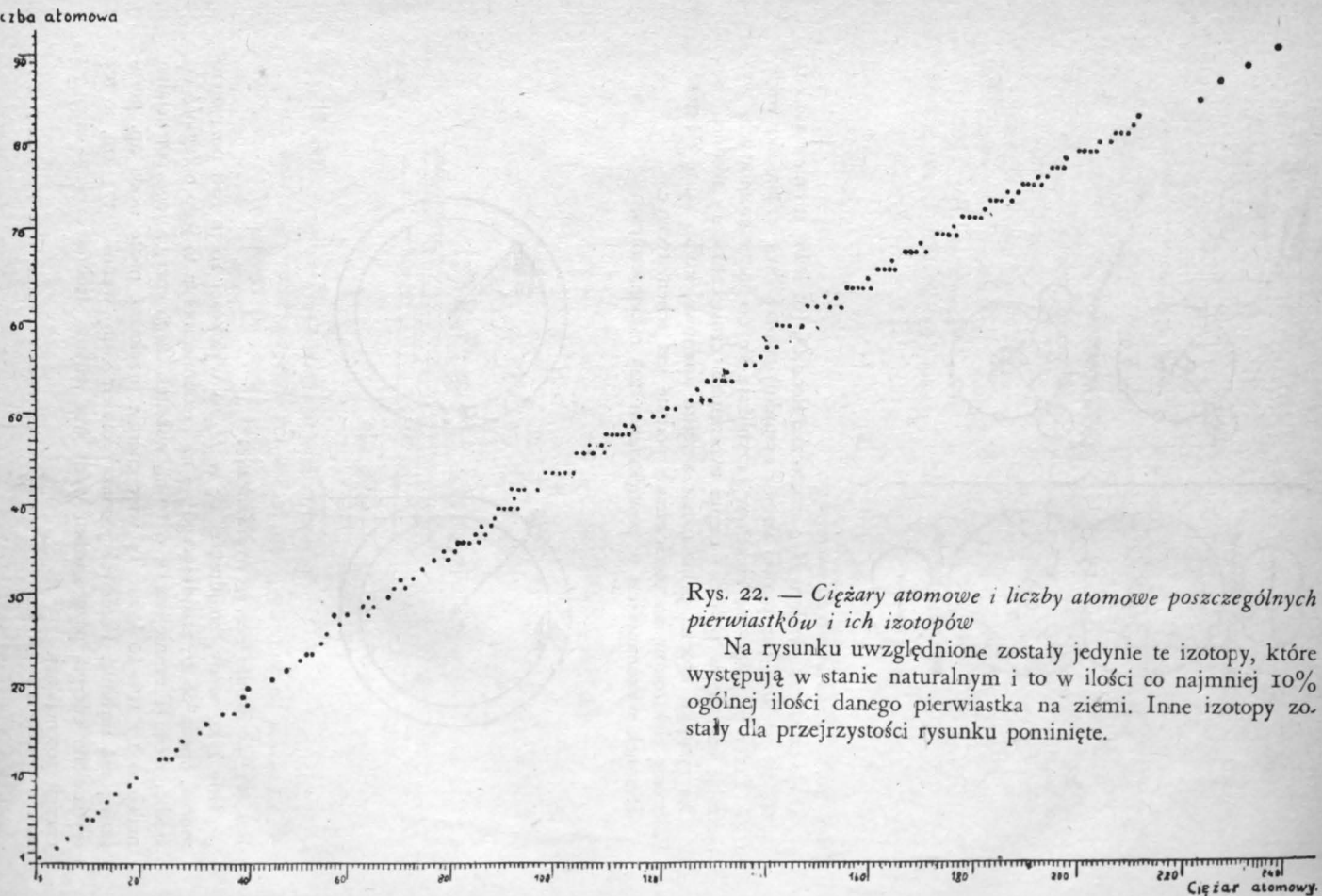
Rysunek wykonany jest w powiększeniu 125 milion-krotnym.



Rys. 21

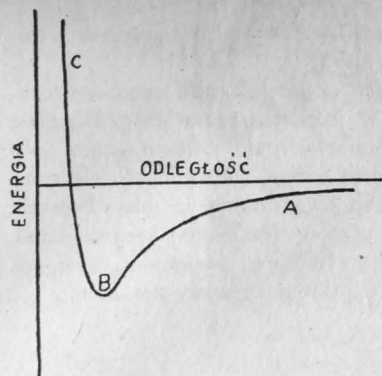
Rys. 21. — Źródło energii hydraulicznej

Gdy 1 kg wody, znajdującej się w H , na wysokości 10 m nad poziomem morza, opada do B , znajdującego się na poziomie morza to jego odległość od środka ziemi T zmniejsza się o 10 m, wskutek czego energia jego potencjalna maleje o $1 \times 10 = 10$ kgm. Tę więc energię przekazać może woda np. poruszanej nią turbinie. Ponieważ jednak promień ziemi wynosi 6371 km, to też wydzielona energia przy spadku wody jest jedynie drobną częścią całej jej energii potencjalnej.



Rys. 22. — Ciężary atomowe i liczby atomowe poszczególnych pierwiastków i ich izotopów

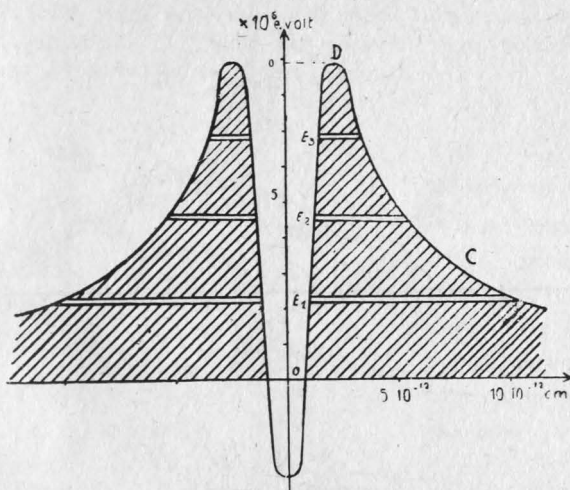
Na rysunku uwzględnione zostały jedynie te izotopy, które występują w stanie naturalnym i to w ilości co najmniej 10% ogólnej ilości danego pierwiastka na ziemi. Inne izotopy zostały dla przejrzystości rysunku pominięte.



Rys. 23

Rys. 23. — Siły wiążące atomy w cząsteczkę

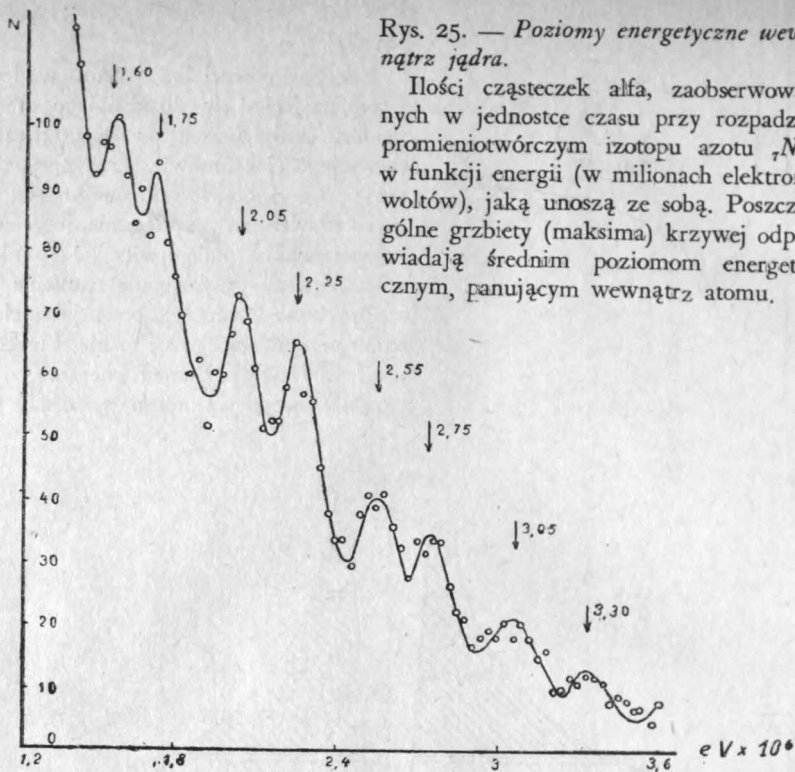
Energia potencjalna atomu wodoru, przybliżającego się do drugiego atomu wodoru (którego elektron ma skręt przeciwny jego elektronowi). Przy przybliżaniu się od *A* do *B* elektron porusza się pod wpływem sił przyciągania, jego energia potencjalna maleje więc. Od punktu *B* począwszy przyciąganie zamienia się w odpychanie — energia potencjalna elektronu przybliżającego się rośnie. Punkt *B* jest najniższym poziomem energetycznym przybliżającego się atomu wodoru.



Rys. 24

Rys. 24 — Bariera potencjału atomu

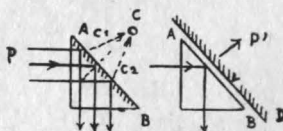
Odległości od środka jądra powiększone są 300 miliardów razy. Energie podane są w milionach elektronwoltów (1 elektronwolt = $1,601 \cdot 10^{-19}$ jouli). Przy przybliżaniu się cząsteczki elementarnej od *C* do *D* działają na nią siły odpychania — cząsteczka musi więc mieć dużą energię, by siły te pokonać. Po dościsnięciu do *D* odpychanie zamienia się znów w przyciąganie. Cząsteczka więc, będąca zewnątrz « krateru » bariery potencjału musi mieć bardzo znaczną energię, by dostać się do *D* i barierę tę przekroczyć. E_1 , E_2 , E_3 , oznaczają « tunele współbrzmienia » w barierze potencjału, tj. poziomy energetyczne, przy których — dzięki zjawiskom współbrzmienia — cząsteczka ma pewne (mniejsze lub większe) prawdopodobieństwo wyjścia z wnętrza jądra poza barierę potencjału, lub też dostania się do jego wnętrza z zewnątrz.



Rys. 25. — Poziomy energetyczne wewnętrzne jądra.

Ilości cząsteczek alfa, zaobserwowanych w jednostce czasu przy rozpadzie promieniotwórczym izotopu azotu ^{15}N w funkcji energii (w milionach elektronwoltów), jaką unoszą ze sobą. Poszczególne grzbiety (maksima) krzywej odpowiadają średnim poziomom energetycznym, panującym wewnątrz atomu.

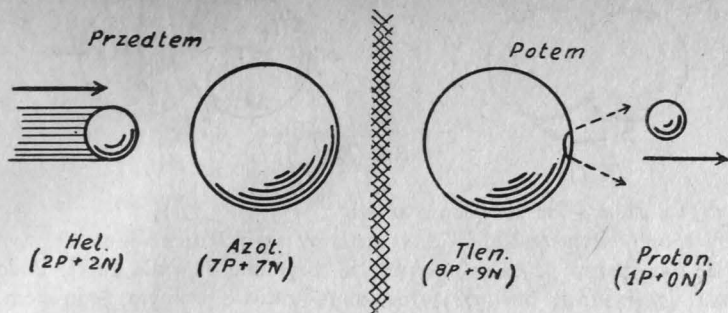
Rys. 25



Rys. 26

Rys. 26. — Przepuszczanie światła przy kącie całkowitego odbicia.

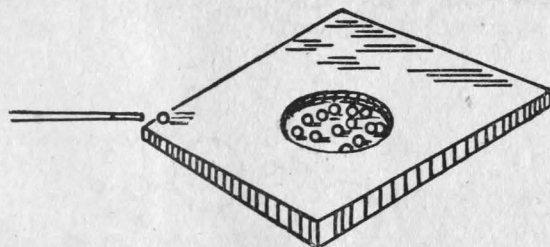
Przy określonym dla danego materiału (szkła) kącie padania promienie B , padające od wewnątrz, nie będą przenikać przez ścianę tylną AB pryzmatu, lecz jedynie odbijać się od niej. Jest to t.zw. kąt całkowitego odbicia (rysunek lewy). Przybliżając jednak (rysunek prawy) do pryzmatu płytkę D , z tego samego szkła, na odległość równą mniej więcej długości fali padającego światła, przepuszczone tak, jak gdyby gruba warstwa powietrza ze płytką AB była nieprzeźroczysta, natomiast zmniejszenie grubości warstwy powietrza do cienkiej warstewki między AB i D uczyniło je słabo przeźroczystym.



Rys. 27

Rys. 27. — Zasada przemiany atomowej

Gdy cząsteczka alfa (jądro helu), wypromieniowana przez polon ^{214}Po i poruszająca się z dużą szybkością, uderzy w jądro atomu azotu ^{14}N , jądro to przechodzi w jądro tlenu ^{17}O (rzadki izotop tlenu), a równocześnie z jądra wylatuje z dużą szybkością proton (jądro wodoru).



Rys. 28

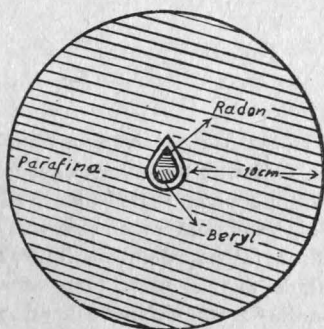
Rys. 28. — Nowa cząsteczka we wnętrzu jądra

Nowa cząsteczka elementarna, wchodząca do wnętrza jądra atomowego, zachowuje się jak kula białardowa, wrzucona do miski napętnionej już wielką ilością kul.

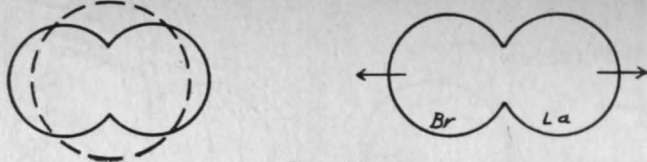
Rys. 29. — Źródło neutronów.

Jako źródło neutronów stosuje się ampułkę z gazem szlachetnym, radonem i opilkami berylu. Radon jest ciałem silnie promieniotwórczym i rozpada się z wydzielaniem cząsteczek alfa. Cząsteczki te, uderzając w beryl, powodują jego przemianę w węgiel, przy czym wydziela się wolny neutron.

Dla ochrony otoczenia od niebezpiecznego dla organizmu działania neutronów, ampułkę tę przechowuje się w parafinie, która pochłania neutrony. 10 cm parafiny stanowi zupełnie wystarczającą osłonę.



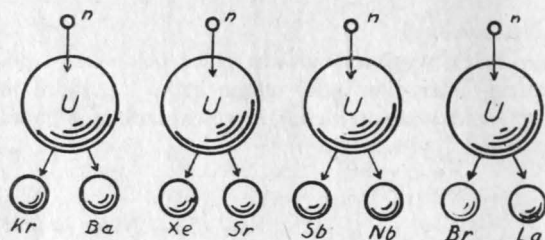
Rys. 29



Rys. 30.

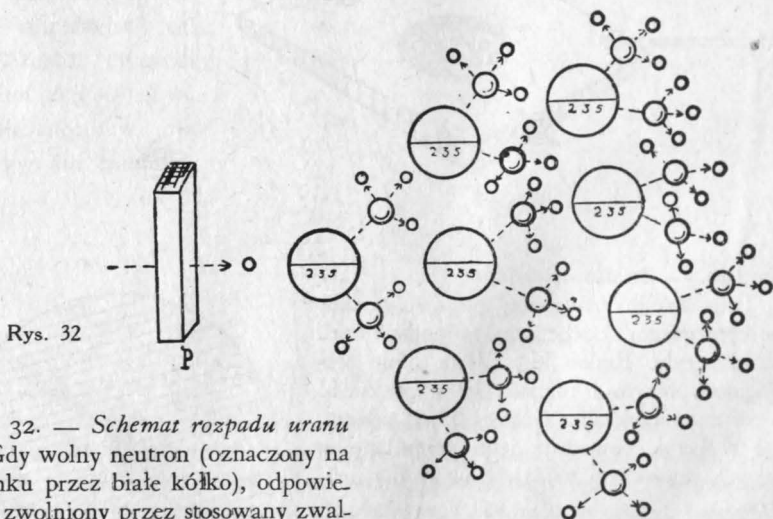
Rys. 30. — Zasada rozszczepienia atomu

Gdy kropki oliwy (rysunek lewy) nadamy szybki ruch obrotowy, to spleczy się ona, potem przewęzi, a wreszcie rozpadnie na dwie kulki. Podobnie zachowa się (rysunek prawy) jądro uranu, trafione wolnym neutronem. Na rysunku przedstawiony jest rozpad uranu na brom i lantan.



Rys. 31

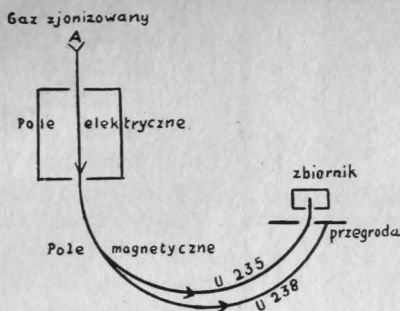
Rys. 31. — Różne możliwości rozszczepienia w uranu pod wpływem wolnego neutronu (od lewego do prawego): krypton i bar, ksenon i stront, antymon i niob, brom i lantan.



Rys. 32

Rys. 32. — Schemat rozpadu uranu

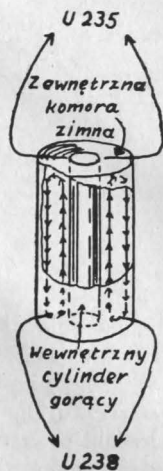
Gdy wolny neutron (oznaczony na rysunku przez białe kółko), odpowiednio zwolniony przez stosowany zwalniacz (P na rysunku), trafi w jądro uranu 235, to jądro to rozszczepia się na dwie części (większe kółka na rysunku) z wydzielaniem neutronów. Neutrony te uderzają w nowe jądra uranu 235, które znowu rozpadają się z wydzielaniem neutronów i proces postępuje dalej.



Rys. 33

Rys. 33. — Zasada spektrometru masy.

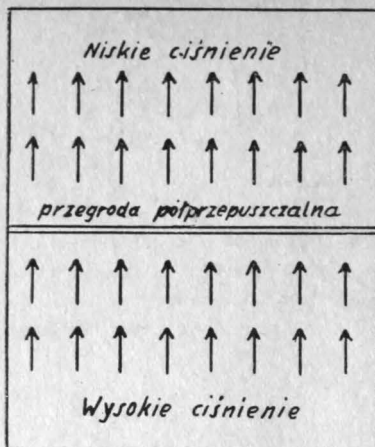
Para soli uranowej, zjonizowana w komorze A, zostaje przepuszczona przez silne pole elektryczne, które nadaje jonom znaczne szybkości. Stąd jony przechodzą w silne pole magnetyczne, które zagina ich tor. Przy tym lżejszy izotop $U\ 235$ zagina swój tor silniej, niż cięższy od niego $U\ 238$. Na końcu ich drogi ustawia się zbiornik, a przed nim przegrodę z otworem w miejscu, gdzie padają izotopy $U\ 235$. W ten sposób w zbiorniku zbiera się jedynie izotop lżejszy $U\ 235$, cięższy natomiast $U\ 238$ osadza się na przegrodzie.



Rys. 34

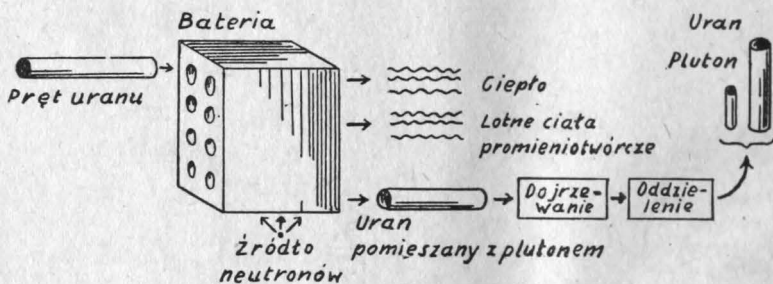
Rys. 34. — Zasada dyfuzji cieplnej.

W komorze, ochładzanej zewnątrz, umieszcza się cylinder, ogrzewany od wewnątrz. W przestrzeń między cylinder a ściany komory wypuszcza się parę fluoru uranu. Pod wpływem temperatury powstaje w parze ten ruch cząsteczek (zaznaczony na rysunku schematycznie strzałkami), przy czym para w gorze komory jest nieco bogatsza w lżejszy izotop fluoru uranu $U\ 235$, niż para pierwotna. Odcinając więc parę z góry komory, wzbogacamy zawartość $U\ 235$ w parze.



Rys. 35

Rys. 35. — Zasada dyfuzji gazowej.
Naczynie składa się z dwu komór, przedzielonych przegrodą półprzepuszczalną. Do jednej z nich (dolnej na rysunku) wprowadza się parę fluoru uranu pod wysokim ciśnieniem, w drugiej (górnej na rysunku) panuje ciśnienie bardzo niskie. Pod wpływem różnicy ciśnień para przenika do komory o niskim ciśnieniu poprzez przegrodę. Częsteczki izotopu U^{235} , jako lżejsze, przenikać będą szybciej, gaz po drugiej stronie przegrody będzie miał większy procent izotopu U^{235} , niż gaz pierwotny.



Rys. 36

Rys. 36. — Schematyczny przebieg produkcji plutonu.

W blok grafitu wkłada się pręty uranu (zamknięte w osłonie aluminiowej, by uniknąć korozji uranu przez strumień wody chłodzącej). Uran ten poddaje się przez określony czas działaniu neutronów, zawalnianych w swym biegu przez blok grafitu. Wydzielane przy tym ciepło unosi woda chłodząca, a lotne ciała promieniotwórcze usuwa się innymi sposobami. Po zakończeniu procesu wyjmujemy się pręt uranu, pomieszanego z plutonem i podaje się procesowi dojrzwiania, wreszcie oddziela się pluton od uranu i pozostałych przy procesie zanieczyszczeń metodami chemicznymi.



- Rys. 37

Rys. 37. — *Wybuch bomby atomowej.*

Wpierw pojawia się oślepiający błysk, jak gdyby nowe słońce zrodziło się na niebie (zdjęcie *International* z pierwszej próby w *Bikini*).



Rys. 38

Rys. 38. — *Wybuch bomby atomowej.*

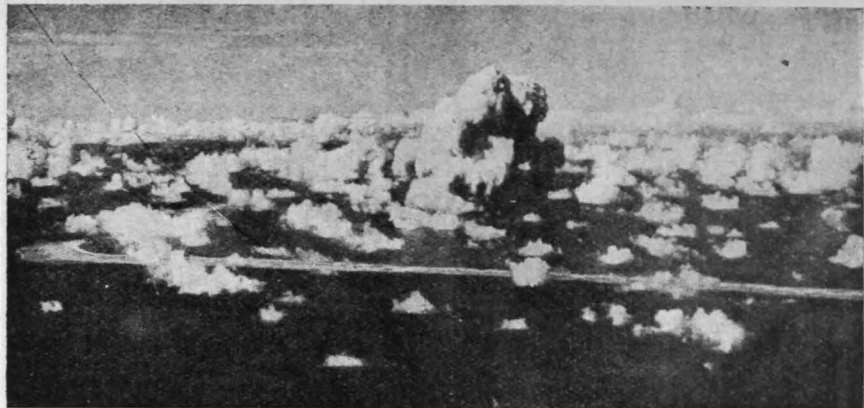
Następnie wzbija się olbrzymia chmura, wysokości ponad 4500 m (zdjęcie *Associated Press* z pierwszej próby w *Bikini*).



Rys. 39

Rys. 39. — *Wybuch bomby atomowej.*

Chmura wzbija się coraz wyżej i rozszerza się, tworząc najprzeróżniejsze figury na niebie (zdjęcie oficjalne *Army-Navy Radiophoto* z pierwszej próby w *Bikini*).



Rys. 40

Rys. 40. — Wybuch podwodny bomby atomowej.

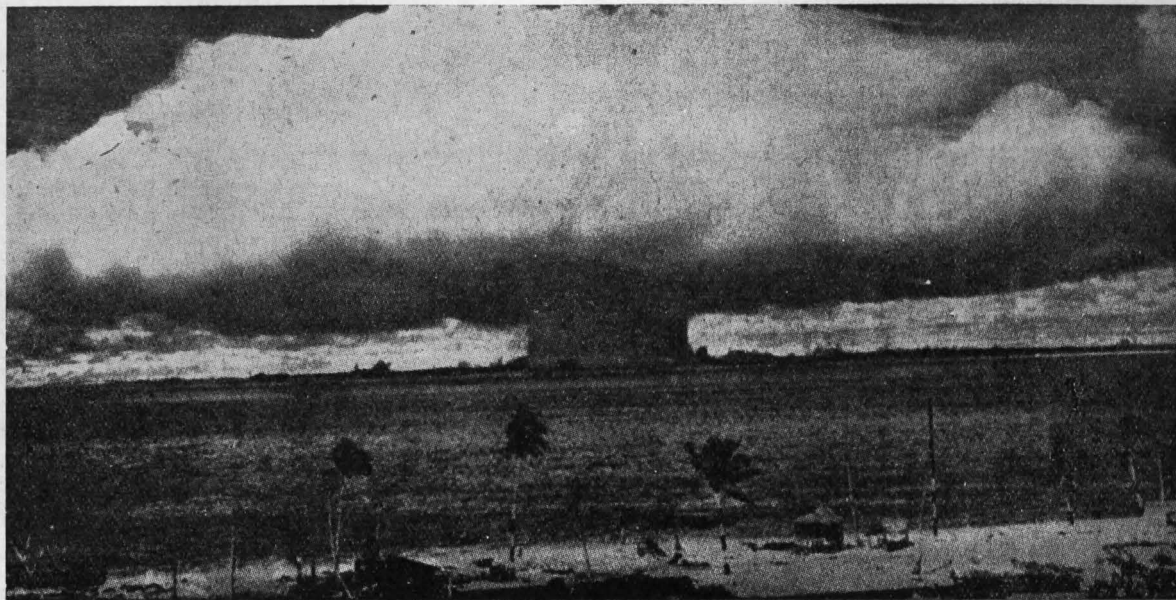
Zaraz po wybuchu powierzchnia morza pokryła się jak gdyby kłębowiskiem chmur, niby pokryte barankami niebo. W środku wytrysnął słup wody średnicy 600 m (zdjęcie *International* z drugiej próby w *Bikini*).



Rys. 41

Rys. 41. — Wybuch podwodny bomby atomowej.

W ciągu $2\frac{1}{2}$ minut słup osiągnął wysokość $1\frac{1}{2}$ km, przybierając postać jak gdyby głowy kobiecej (zdjęcie *Associated Press* z drugiej próby w *Bikini*).



Rys. 42

Rys. 42. — *Wybuch podwodny bomby atomowej.*

Słup wodny wzrósł jeszcze wyżej, przybrał postać olbrzymiego muchomora. Cień w środku chmury jest to — jak przypuszczają — pancernik *Arkansas*, wyrzucony w górę przed zatonięciem (zdjęcie *Acme* z drugiej próby w *Bikini*).





BIBLIOTEKA
NARODOWA

307554

Biblioteka Narodowa
Warszawa



30001018603789