

to wyprowadzić się daje prosty związek pomiędzy stałą przemiany λ i zasięgiem R wyrzucanych przez dany pierwiastek cząstek α :

$$\log \lambda = a + b \log R,$$

które znalezione zostało na drodze doświadczalnej przez Geigera i Nuttalla (tom II str. 281). ☒

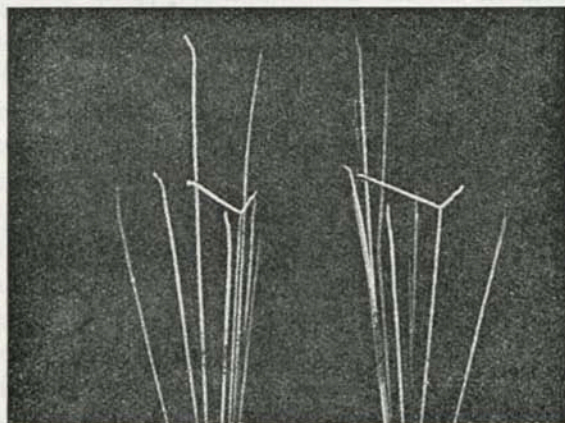
4. PRZEMIANY JĄDROWE.

☒ A. *Wymuszone przemiany pierwiastków lekkich.* W rozdziale poprzednim, omawiając »naturalny« rozpad pierwiastków promieniotwórczych, mieliśmy do czynienia przeważnie z pierwiastkami ciężkimi, których numery porządkowe są większe od 80. Wyjątki od tej reguły stanowią tylko dwa pierwiastki: potas (Nr 19) i rubid (Nr. 37). Samorzutny rozpad pierwiastków lekkich nie został dotąd doświadczalnie stwierdzony. Posiadamy natomiast liczne dowody sztucznie wywołanych przemian pierwiastków lekkich. Pierwsze pomyślne wyniki »transmutacji« pierwiastków tych pod wpływem działania cząstek »alfa«, wyrzucanych przez substancje promieniotwórcze, otrzymał w r. 1918 Rutherford. ☒

☒ Jeżeli cząstki α trafiają atomy pierwiastków ciężkich, jak np. podczas przechodzenia promieni α przez folie platyny, złota i t. p., których jądra posiadają masy wielkie, jądra te, praktycznie biorąc, pozostają nieruchome. Inaczej zgoła dzieje się, gdy cząstki α uderzają atomy lekkie: wówczas zarówno cząstka α , jak i atom uderzony odskakują: cząstka α oddaje wówczas część własnej szybkości uderzonemu atomowi. Podług prawa mechaniki, szybkości obu atomów po ich zderzeniu będą odwrotnie proporcjonalne do ich mas (por. rys. 114). ☒

☒ Jeżeli natomiast cząstka α uderzy np. atom wodoru, którego masa jest 4 razy mniejsza od masy cząstki α , to tor cząstki α zostanie nieznacznie odchyłony, atom wodoru natomiast zostanie gwałtownie odrzucony w bok, jak to uwidocznia fotografia, otrzymana w komorze wilsonowskiej, przedstawiona na rys. 115. W tym przypadku jądro wodoru osiągnie po zderzeniu większą szybkość, niż pierwotna szybkość cząstki α , i oczywiście większy zasięg. W istocie Marsden dowiódł, że cząstki α , biegnące przez wodór lub przez związki wodorowe

(np. parafinę) wyzwala ją »jądra wodorowe« o znacznie większym zasięgu, niż zasięg cząstek α . Zasięg ten wynosił w doświadczeniach Mardsen a, który posilkował się metodą scyntylacji (por. str. 243), 28 cm, podczas gdy użyte do wywołania tego zjawiska



Rys. 114.

Zdjęcie toru cząstki α po zderzeniu z atomem tlenu według dzieła Szczeniowskiego i Ziemec kiego: »Promieniowanie i Materja«.

nią tego zjawiska cząstki α posiadały tylko zasięg 7 cm. Jądra wodorowe o wielkich szybkościach i dużym zasięgu nazywać będziemy promieniami H . ☒

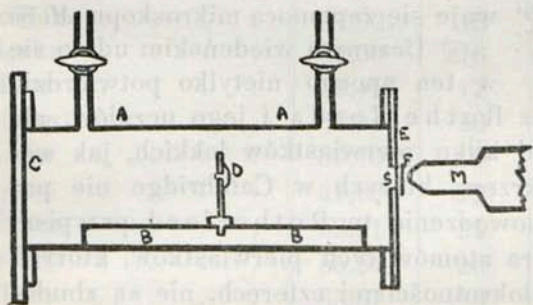
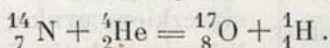
☒ Dotąd wszystko zgadzało się z teorią. Ale w r. 1918 Rutherford zauważył, że promienie H (zawierające jądra wodoru) występują nawet wtedy, gdy

cząstki α przechodzą przez pewne substancje, nie zawierające zupełnie wodoru, np. azot. Rys. 116 przedstawia schematycznie przyrząd, stosowany przez Rutherforda do doświadczeń nad »dezintegracją« pierwiastków (czyli ich rozkładem). Przyrząd ten podobny jest w zasadzie do spintaryskopu Crookes a, opisanego na str. 243. W rurce, zaopatrzonej w krany do wprowadzania i usuwania badanych gazów, umieszczony jest rad C na podstawce D , którą można przesuwac wzdłuż listwy B . Wysyłane przez preparat promienie przechodzą przez otwór S , zakryty cienką folią srebrną, której zdolność absorbcyjna względem cząstek α odpowiada 4 — 6 cm powietrza. Tuż za okienkiem S znajduje się mały ekranik F , pokryty blendą cynkową. O ile z rurki wychodzą tylko promienie α , zostają one całkowicie pochłaniane przez srebrną folię. Scyntylacja na ekranie wówczas nie występuje. Jeżeli natomiast w rurce powstają promienie H o większym zasięgu, to przenikają one przez folię i wywołują scyntylację na ekranie. W ten sposób Rutherford i Chadwick stwierdzili dezin-

tegrację następujących pierwiastków: B, N, Na, Al, P, Ne, Mg, Si, S, Cl, A i K. Nie udało się im natomiast wywołać dezintegracji helu, tlenu, miedzi i ciężkich pierwiastków. ☒

☒ Przyjmując, że jądro helu (czyli cząstka α) »wbija się« podczas zderzenia z atomem azotu w jądro tego ostatniego, wyrzucając zeń jeden proton (jądro wodoru), wnioskujemy, że jako wynik zderzenia powinien powstać atom pierwiastka o liczbie porządkowej 8 i o ciężarze atomowym 17. Powinien

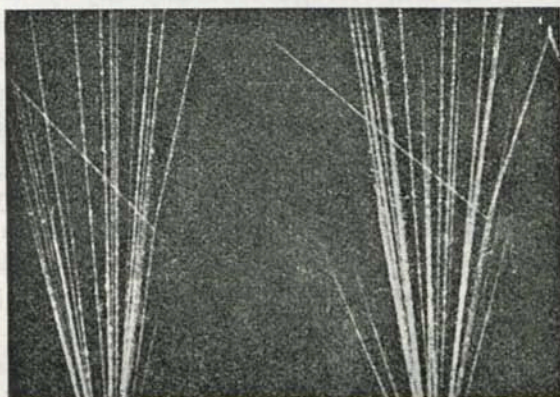
to zatem być atom *izotopu tlenu*. Możemy przeto napisać równanie dezintegracji azotu w sposób następujący:



Rys. 116.

Przyrząd Rutherforda do stwierdzania rozpadu atomów. Z dzieła Ziemeckiego p. t. »Budowa materji«.

atomów cząstkami α , jest to, że promienie te występują często pod kątami rozwartymi względem kierunku promieni α . Fakt ten dowodzi, że odłamki jąder powstają wskutek »wybuchu«



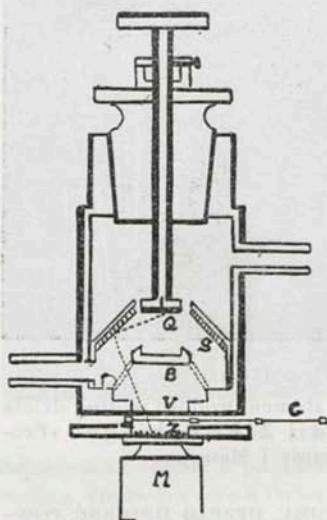
Rys. 115.

Zderzenie cząstki α z atomem wodoru według dzieła Szczeniowskiego i Ziemeckiego: »Promieniowanie i Materja«.

Zauważyć tu jednak należy, że reakcja ta odbywa się w zupełnie znikomych ilościach: na kilkadziesiąt tysięcy uderzeń cząstek α tylko jedno wywołuje rozpad atomu. ☒

☒ Najsilniejszym dowodem, że promienie H pojawiają się wskutek »rozbijania« jąder

i rozsypują się we wszystkich kierunkach. Na tem zjawisku oparty jest przyrząd do badania dezintegracji atomów, obmyślony i stosowany przez Kirscha i Pettersona w Wiedniu. Przyrząd ten, którego schematyczny rysunek podany jest niżej (rys. 117), zawiera w Q substancję promieniotwórczą, wytwarzającą promienie α o pewnym określonym zasięgu. Promienie te, jak wyżej powiedzieliśmy, rozchodzą się na wszystkie strony. Przeważna część ich pada na masywną metalową płytkę B , gdzie ulega pochłanianiu. Pewna część zaś cząstek α , wyrzucana przez substancję promieniotwórczą pod kątem rozwartym, uderza o umieszczoną pod kątem 45° powierzchnię S , zawierającą badaną substancję. Te właśnie promienie (których kierunek zaznaczony jest linią przerywaną) wybijają protony z jąder badanej substancji, znajdujących się w S . Przebijają one cienką błonę mikiową V i padają na ekran Z , pokryty siarczkiem cynku, na którym wywołują scyntylacje. Scyntylacje te obserwuje się zapomocą mikroskopu M . ☒



Rys. 117.

Schematyczny rysunek przyrządu Kirscha i Pettersona do badania dezintegracji atomów według Ziemckiego: »Budowa materji«.

wyniki, otrzymane przez Rutherforda i jego uczniów, ale również wywołać rozpad kilku pierwiastków lekkich, jak węgiel, beryl, magnez i krzem, których w Cambridge nie potrafiono rozłożyć. Niepowodzenie to Rutherford przypisał wówczas temu, że jądra atomów tych pierwiastków, których ciężary atomowe są wielokrotnościami czterech, nie są zbudowane z protonów, ale z jąder helu. ☒

☒ Oprócz metody »scyntylicyjnej« stosowano również w badaniach nad rozpadem atomów metodę Wilsona, polegającą na fotografowaniu dróg promieni α i promieni H w powietrzu, zawierającym parę wodną (por. str. 257). Wszystkie te metody są oczywiście bardzo kłopotliwe i wymagają ciągłej naprężonej uwagi i kontroli ze względu na to, że mamy tu do

czynienia z przejawami energii pojedynczych atomów i ich jąder, — przejawami z natury rzeczy bardzo słabymi. W tabelce poniższej podajemy listę pierwiastków, których atomy potrafią dotąd rozbić cząsteczkami α . *

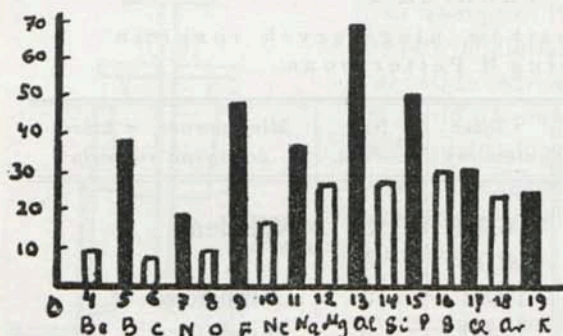
*

TABLICA 68.

Wykaz pierwiastków, ulegających rozbićiu
podług H. Petterssona.

| Pierwiastek | CieŜar atomowy | Nr. porząd. | Miejscowość, w której dokonano rozbi cia |
|------------------|----------------|-------------|--|
| Lit | 6,940 | 3 | Wiedeń |
| Beryl | 9,02 | 4 | „ |
| Bor | 10,82 | 5 | Cambridge |
| Węgiel | 12,00 | 6 | Wiedeń |
| Azot | 14,008 | 7 | Cambridge |
| Tlen | 16,000 | 8 | Wiedeń |
| Fluor | 19,000 | 9 | Cambridge |
| Neon | 20,183 | 10 | „ |
| S d | 22,997 | 11 | „ |
| Magnez | 24,32 | 12 | Wiedeń, Cambridge |
| Glin | 26,97 | 13 | Cambridge |
| Krzem | 28,06 | 14 | Wiedeń, Cambridge |
| Fosf r | 31,02 | 15 | Cambridge |
| Siarka | 32,06 | 16 | „ |
| Chlor | 35,457 | 17 | „ |
| Argon | 39,944 | 18 | „ |
| Potas | 39,10 | 19 | „ |
| Tytan | 47,90 | 22 | Wiedeń |
| Chrom | 52,01 | 24 | „ |
|  elazo | 55,84 | 26 | „ |
| Miedź | 63,57 | 29 | „ |
| Selen | 79,2 | 34 | „ |
| Brom | 79,916 | 35 | „ |
| Cyrkon | 91,22 | 40 | „ |
| Cyna | 118,70 | 50 | „ |
| Telur | 127,5 | 52 | „ |
| Jod | 126,92 | 53 | „ * |

⊗ Wszystkie przytoczone w powyższej tabelce pierwiastki wysyłają promienie H czyli protony, których zasięg we wszystkich przytoczonych powyżej przypadkach jest większy od zasięgu cząstek α . Zależność maksymalnego zasięgu cząstek α od liczby porządkowej badanych pierwiastków podana jest na rys. 118. Z przytoczonych danych wynika, że zasięg protonów,



Rys. 118.

Zależność maksymalnego zasięgu promieni H od liczby porządkowej pierwiastków, których atomy ulegają rozbićciu.

wyrzucanych z pierwiastków, posiadających nieparzyste liczby porządkowe, jest większy, niż zasięg protonów, pochodzących z pierwiastków o parzystej liczbie porządkowej. Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że niektóre pierwiastki nieparzyste, np. glin, bor i fosfor wyrzucają

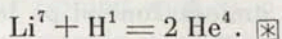
protony o bardzo dalekim zasięgu. Możemy obliczyć, że jeżeli nawet całkowita energia kinetyczna cząstki α zostaje po uderzeniu uwięziona w jądrze »rozbitego atomu«, to nawet wówczas zasięg wyrzuconego protonu w powietrzu nie powinien przewyższać 50 cm; w rzeczywistości jednak zasięg protonów glinu dochodzić może do 90 cm. Oznacza to, że wyrzucony proton pobiera część energii z jądra rozbitego atomu. Zjawisko rozbijania atomów stanowi przeto niejako nowe źródło energii, niemniej obfite niż zjawisko samorzutnego rozpadu atomów pierwiastków promieniotwórczych. Źródłem tej energii jest prawdopodobnie strata masy, towarzysząca procesowi dezintegracji atomów. Podług zasady Einsteina stracie masy m odpowiada przyrost energii E , którego wielkość daje się obliczyć na podstawie następującego prostego równania:

$$E = m \cdot c^2.$$

W równaniu tem c oznacza szybkość światła ($3 \cdot 10^{10}$ cm). Uwzględniając wielkość c^2 , łatwo zrozumieć, że nawet niewielkie straty masy muszą wywoływać powstawanie znacznych ilości energii. ⊗

⊗ *B. Przemiany jądrowe, wywołane przez protony.* W r. 1933 Cockcroft i Walton zastosowali do rozbijania atomów lekkich zamiast promieni α promienie H , sztucznie wytwarzane. Metoda, stosowana przez tych uczonych, polegała na przyspieszaniu promieni kanalikowych wodoru zapomocą silnych pól elektrycznych, których napięcie dochodziło do 600 000 woltów. Wynik był nieoczekiwany, otrzymano bowiem scyntylacje bardzo jasne, których cechy charakterystyczne przypominały zupełnie scyntylacje cząstek α . W rzeczywistości badania promieni, otrzymanych wskutek rozbicia atomów litu, dowiodły, że są to cząstki α o zasięgu 8,4 cm. ⊗

⊗ Przypuszczając, że przemianie ulega izotop litu, którego ciężar atomowy wynosi 7, możemy powstawanie cząstek alfa z atomów litu i jąder wodoru wyrazić zapomocą następującego równania »alchemicznego«:



⊗ Okazało się, że zasięg wyrzucanych przez lit cząstek α wynosi w powietrzu 8,4 cm. Tak wielki zasięg cząstek alfa odpowiada energii, której cząstki te mogłyby nabrać dopiero przy różnicy potencjałów $4,3 \cdot 10^5$ woltów, podczas gdy energia protonów w rurce kanalikowej odpowiada napięciu, wynoszącemu zaledwie $1,5 \cdot 10^5$. Musimy więc i w tym przypadku uznać, że przyrost energii jest wywołany przez stratę masy podczas powstawania jąder helu z jąder Li i H. W istocie według badań Costy masa jądra litu wynosi $7,0104 \pm 0,003$ (dla izotopu Li^7). Masa protonu zaś wynosi 1,0072 (po odjęciu od masy atomu wodoru masy elektronu). Zatem masa powstałych dwóch atomów helu powinna wynosić:

$$\text{Li} + \text{H} = 8,0176 \pm 0,003.$$

W rzeczywistości zaś masa dwóch cząstek He wynosi:

$$2 \text{He} = 2,4,0011 = 8,0022.$$

W ten sposób podczas dezintegracji litu otrzymujemy stratę masy wynoszącą $0,0154 \pm 0,003$. Tej stracie masy odpowiadać powinien, na podstawie równania Einsteina przyrost energii:

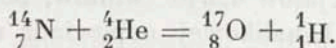
$$E = \frac{(0,0154 \pm 0,003) \cdot 9 \cdot 10^{20}}{6,06 \cdot 10^{23}} = (2,29 \pm 0,44) \cdot 10^{-5} \text{ erg},$$

co odpowiada w znacznym przybliżeniu zwiększeniu się energii kinetycznej wyrzucanych protonów. ☒

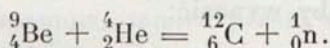
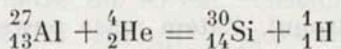
☒ W ten sposób zjawiska, odkryte przez Cockcrofta i Waltona, są niejako odwróceniem doświadczeń Rutherforda nad rozbijaniem atomów. Rutherford otrzymał bowiem szybkobieżne protony przez bombardowanie atomów cząstkami α , podczas gdy Cockcroft i Walton bombardowali atomy protonami i otrzymali, jako produkt ich rozpadu, cząstki α . ☒

☒ *C. Ogólny pogląd.* W ogólności znane są dotąd cztery kategorie sztucznie wywołanych przemian pierwiastków. ☒

☒ 1) Przemiany, wywołane przez bombardowanie cząstkami α , np. przemiana atomów azotu na atomy izotopu tlenu o ciężarze atomowym 17 i na atomy wodoru, odkryta przez Rutherforda. Oznaczając liczby porządkowe i ciężary atomowe pierwiastków znaczkami, umieszczonemi po lewej stronie ich symbolów chemicznych, a mianowicie: ciężar atomowy przez znaczek górny, a liczbę porządkową pierwiastka przez znaczek dolny, możemy reakcję przemiany jąder atomowych azotu wyrazić zapomocą następującego równania:

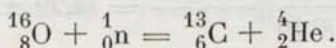


Podobny przykład reakcji jądrowej pod wpływem bombardowania cząstkami α stanowi przemiana glinu na krzem, zbadana przez p. Lizę Meitner, oraz przemiana berylu na węgiel, odkryta przez małżonków Curie-Joliot:



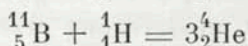
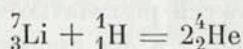
We wszystkich przytoczonych tu przypadkach cząstki α (czyli atomy helu) zostają pobierane przez jądra pierwiastka, ulegającego przemianie, wysyłane zaś zostają protony (czyli jądra wodoru) albo neutrony (oznaczane symbolem ${}^1_0\text{n}$). ☒

☒ 2) Do drugiej kategorii przemian jądrowych należą przemiany, wywołane przez bombardowanie neutronami, np. przemiana tlenu w »izotop« węgla o ciężarze atomowym 13, odkryta przez Lizę Meitner:



W reakcji tej tlen, przyłączając neutron, tworzy jądro nie trwałe, które rozpada się na atomy węgla i cząstki α . ☒

☒ 3) Do trzeciej kategorii zjawisk tego rodzaju należą przemiany jądrowe, wywołane przez bombardowanie jąder przyspieszonymi w silnych polach elektrycznych protonami, odkryte przez Cockrofta i Waltona (patrz str. 355), np.

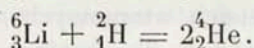
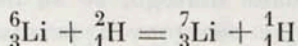


Wskutek przyłączenia protonu powstają również jądra nie trwałe, które rozpadają się na cząstki α (czyli atomy helu). ☒

☒ 4) W ostatnich czasach (1933) amerykańscy uczeni Lawrence, Livingston i Lewis zastosowali do rozbijania atomów jądra »ciężkiego« izotopu wodoru o ciężarze atomowym około 2, przyspieszone w polu elektrycznym o napięciu $2 \cdot 10^6$ woltów. Ponieważ masa »deutonów« (nazwę tę nadano atomom »ciężkiego« wodoru) jest dwa razy większa od masy protonów, przeto zderzenia ich z atomami pierwiastków są dwa razy skuteczniejsze. Jako przykład przytoczę tu przemianę atomów boru w atomy węgla:



Izotop litu o ciężarze atomowym 6 ulega pod wpływem »deutonów« dwojakiemu rozpadowi:



W ten sposób z jednego i tego samego pierwiastka powstaje jednocześnie jego izotop (o ciężarze atomowym 7) oraz hel. ☒

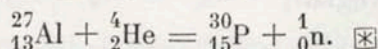
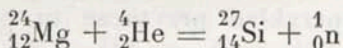
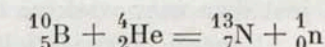
☒ D. *Sztuczne pierwiastki promieniotwórcze.* Nowe zjawiska promieniotwórczości zostały odkryte przez panią Irenę Curie (córkę pani Marji Curie-Skłodowskiej) i jej męża F. Joliotą w r. 1934. Badacze ci naświetlali blaszkę aluminową promieniami α , pochodzącymi z silnego preparatu polonu, w ciągu kilku minut. Po usunięciu polonu zauważyli oni, że blaszka aluminowa stała się promieniotwórczą i poczęła wysyłać przeważnie »pozytony«, czyli dodatnie elektrony. Niewątpliwie powstał więc z glinu wskutek działania promieni α

jakiś nowy pierwiastek promieniotwórczy, wysyłający podczas rozpadu pozytony. Dalsze badania dowiodły, że okres półtrwania tego nowego pierwiastka promieniotwórczego wynosi tylko 3 min. 15 sek. ☒

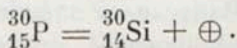
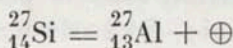
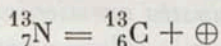
☒ W podobny sposób zachowują się bor i magnez—z tą jednak różnicą, że okresy półtrwania otrzymanych przez naświetlanie promieniami α nowych pierwiastków promieniotwórczych wynoszą: dla boru 14 min., a dla magnezu 2 min. 45 sek. Zasługuje na uwagę fakt, stwierdzony przez pp. Curie-Joliot, że spadek promieniotwórczości podlega ogólnemu prawu wykładniczemu:

$$I_t = I_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

(por. str. 268). Otrzymane w ten sposób nowe zjawiska promieniotwórczości autorzy tych badań objaśniają w następujący sposób. Jądra pierwiastków, bombardowanych cząstkami α , pochłaniają te cząsteczki i przetwarzają się w jądra nowych nietrwałych pierwiastków, wysyłając wolne neutrony, np.



☒ Otrzymane pierwiastki są, jak to wynika z ich numerów porządkowych, izotopami azotu, krzemu i fosforu. Izotopy te dotąd nie były znane dlatego, że są bardzo nietrwałe i rozkładają się, wysyłając pozytony i przetwarzając się w pierwiastki trwałe o liczbach atomowych o jednostkę niższych od pierwiastków poprzednich. Ten wtórny rozpad nietrwałych izotopów, powstałych przez pochłanianie cząstek α , możemy znów wyrazić zapomocą równań rozpadu promieniotwórczego:

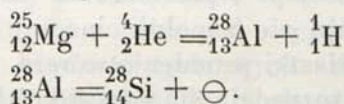


☒ W podobny sposób zostały dotąd otrzymane przez różnych autorów w kilku laboratorjach przeszło 70 nowych pierwiastków promieniotwórczych o krótkich okresach trwania. Jakkolwiek ilości pierwiastków, ulegających transmutacji, są

tak drobne, że niesposób myśleć o ich wykryciu na drodze chemicznej, mimo to pp. Curie-Joliot potwierdzili swój pogląd na istotę tych przemian zapomocą następujących doświadczeń. ☒

☒ Cienka blaszka glinowa została po naświetleniu promieniami α rozpuszczona w kwasie solnym. Stwierdzono, że otrzymany z roztworu chlorek glinu po natychmiastowym wysuszeniu nie jest zupełnie promieniotwórczy. Natomiast wodór, wydzielony z kwasu solnego, posiada własności promieniotwórcze. Zgodnie z wyżej przytoczoną hipotezą powinien on zawierać fosforowódór, powstały z izotopu fosforu, posiadającego ciężar atomowy równy 30, przez działanie wodoru *in statu nascendi*. W rzeczywistości, jeśli rozpuścić glin w kwasie solnym w obecności kwasu azotowego, wówczas promieniotwórczość nie udziela się wodorowi, ale zostaje zatrzymana w glinie (ponieważ fosforowódór zostaje utleniony przez kwas azotowy). Jeżeli do roztworu, otrzymanego w ten sposób przez rozpuszczenie naświetlonego glinu w mieszaninie $\text{HCl} + \text{HNO}_3$, dodać fosforanu sodu i strącić zeń kwas fosforowy przez dodanie soli cyrkonowej, wówczas otrzymany osad fosforanu cyrkonu wykazuje promieniotwórczość (wskutek strącenia kwasu izotopu fosforu o ciężarze atomowym 30). W ten sposób zostały otrzymane nowe nietrwałe izotopy pierwiastków znanych, posiadające własności promieniotwórcze. Pierwiastki te otrzymały nazwy radjoazotu, radjokrzemu, radjofosforu i radjoglinu. ☒

☒ Radjoglin został otrzymany przez naświetlanie promieniami α izotopu magnezu o ciężarze atomowym 25. Radjoglin przetwarza się podczas rozpadu na izotop krzemu o ciężarze atomowym 28 i wysyła promienie β (czyli negatony):



Wkrótce potem Wertenstein wykonał doświadczenie, polegające na naświetlaniu azotu promieniami α o przebiegu 5 cm, i dowiódł, że powstaje przytem radjo fluor ${}^{17}_9\text{F}$, posiadający okres półtrwania 1,2 minut i wysyłający pozytony. Inni badacze naświetlali lekkie pierwiastki protonami, deutonami,

(jądrami ciężkiego wodoru), przyspieszonymi w silnym polu elektrycznym, oraz neutronami. ☒

☒ Na szczególną uwagę zasługują najnowsze badania Fermiego, które dowiodły, że podczas bombardowania atomów najcięższego ze znanych pierwiastków—uranu—neutronami powstają nietrwałe pierwiastki o liczbach porządkowych 93, 94 i 95. Są to więc pierwiastki promieniotwórcze najcięższe, nieznane dotąd w przyrodzie z powodu ich nietrwałości. ☒

☒ Dotąd otrzymano w ten sposób przeszło 70 nowych pierwiastków promieniotwórczych o dość krótkich okresach życia, będących izotopami znanych pierwiastków nieczynnych. Oczywiście w przyrodzie te nowe pierwiastki promieniotwórcze występować nie mogą—wskutek ich nietrwałości. Znajdujemy bowiem w przyrodzie tylko te pierwiastki promieniotwórcze, które powstają z uranu i z toru, jako najbardziej trwałych pierwiastków, które zdołały dożyć obecnej epoki. Wiemy jednak, że istnieją pozatem trzy pierwiastki promieniotwórcze, posiadające dostatecznie długi okres życia aby przetrwać do naszych czasów. Są to potas, rubid i samar (str. 288). W świetle zaś nowych badań te trzy pierwiastki nie są bynajmniej wyjątkami: są one tylko bardzo rzadkimi przeżytkami owej dawnej epoki, kiedy pod wpływem szczególnych warunków temperatury, ciśnienia i promieniowania powstawać mogły liczne radjopierwiastki nietrwałe, których wszelki ślad obecnie już zaginął. ☒

☒ Jakkolwiek nowoodkryte promieniotwórcze izotopy znanych pierwiastków mogą być otrzymywane dotąd tylko w nadzwyczaj drobnych ilościach, to jednak posiadają już one dosyć doniosłe znaczenie i zastosowanie w medycynie dzięki wielkim zasobom energii, związanym z pojedynczymi ich atomami. W rzeczywistości po wprowadzeniu do organizmu pierwiastki te zachowują się zupełnie inaczej niż rad, mezotor i inne trwałe pierwiastki promieniotwórcze. Główna ich zaleta polega na tem, że rozpadają się one w krótkim czasie na pierwiastki nieczynne i nie pozostawiają wskutek tego żadnych osadów promieniotwórczych w organizmie. Naskutek tej własności można je stosować zarówno w postaci zastrzyków, jak również lekarstw wewnętrznych. ☒

5. ZEWNĘTRZNA SFERA ATOMU.

A. Modele budowy atomów. O sferze zewnętrznej wiemy, że zawiera ona elektrony, których liczba równa się ilości dodatnich ładunków jądra atomowego, oraz że elektrony te są najprawdopodobniej rozmieszczone w szeregu sfer koncentrycznych. Według poglądu I. Thomsona obwodowa powłoka elektronów w atomie może zawierać najwyżej 8 elektronów. Ona to warunkuje periodyczność własności chemicznych pierwiastków. A więc np. w atomie sodu w tej pierwszej sferze zewnętrznej występuje tylko 1 elektron, podczas gdy w atomie chloru sfera ta zawiera 7 elektronów.

Maksymalna wartościowość pierwiastków daje pojęcie, ile elektronów występuje w powłoce zewnętrznej atomów, tylko bowiem elektrony powierzchniowe biorą czynny udział w reakcjach chemicznych.

Co do sposobu rozmieszczenia owych elektronów powierzchniowych, pewne wskazówki wynikają z regularności budowy widm świetlnych pierwiastków chemicznych. Na faktach doświadczalnych, zaczerpniętych z tej dziedziny, opierają się pierwsze próby stworzenia modelu wewnętrznej budowy atomów. Poświęcając słów kilka tym szczegółowym rozważaniom nad wewnętrzną budową atomów, wkraczamy w dziedzinę domysłów i hipotez, — należy jednak pamiętać, że hipotezy tego rodzaju oddały już nauce pewne konkretne usługi.

B. Teoria kwantów. Od czasu wykrycia prawa zachowania energii utarło się przekonanie, że wszelka energia może zamieniać się w ciepło w sposób ciągły. Wyobrażenie to jest jednak słuszne i zgodne z rzeczywistością tylko dopóty, dopóki rozpatrujemy zjawiska tłumne czyli masowe. Jeśli natomiast przejdziemy do rozważania indywidualnego zachowania się poszczególnych atomów pod względem energetycznym, występuje na jaw błędność tych pojęć. Wiemy już, że elektryczność nie jest podzielna do nieskończoności, lecz ma — podobnie jak materia — budowę ziarnistą. Najmniejszą ilość elektryczności ujemnej stanowi t. zw. elektron. Planck założył, że energia promieniowania, wysyłanego przez pojedyncze atomy, nie wydziela się w sposób ciągły czyli nieprzerwany, lecz skokami, t. j. w pewnych określonych drobnych ilościach, zwanych »kwantami«. Pojedynczy atom może wysyłać conaj-

mniej pewną elementarną ilość energii promienistej, czyli pewien kwant tej energii, lub też wielokrotności owego kwantu, ale nie może on wydzielić mniejszych ilości energii. Te kwanty energii promienistej nie są jednakowe, lecz zależą od rodzaju drgań: są one tem większe, im większa jest częstość drgań danego promieniowania. Stosunek wielkości kwantu energii do częstości drgań danego promieniowania jest stały. Zwie się on stałą uniwersalną Plancka albo »kwantem działania« h i posiada wymiar następujący:

$$\frac{E}{\nu} = h = 6,55 \cdot 10^{-27} \text{ erg./sek.}$$

Wartości kwantów, wyrażone w ergach, dla różnych rodzajów promieni zawiera załączona tablica:

TABLICA 69.

| | P r o m i e n i e | | | |
|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | czerwone | fioletowe | ultrafiolet. | Roentgena |
| długość fali w cm . | $7600 \cdot 10^{-8}$ | $3800 \cdot 10^{-8}$ | $1000 \cdot 10^{-8}$ | $1 \cdot 10^{-8}$ |
| liczba drgań na sek. . | $0,04 \cdot 10^{16}$ | $0,08 \cdot 10^{16}$ | $0,3 \cdot 10^{16}$ | $300 \cdot 10^{16}$ |
| kwant energii w ergach | $0,26 \cdot 10^{-11}$ | $0,52 \cdot 10^{-11}$ | $1,95 \cdot 10^{-11}$ | $1950 \cdot 10^{-11}$ |

Z tablicy tej wynika, że wielkość »kwantu energii« jest tem większa, im mniejsza jest długość fali rozważanego promieniowania.

Pojęcie kwantów energii odgrywa zasadniczą rolę w koncepcjach o budowie atomów, zwłaszcza w modelu budowy atomu wodoru, podanym przez fizyka duńskiego Bohra.

C. Atom Bohra. Bohr wychodzi z założenia Rutherforda, że atom wodoru składa się z jądra centralnego o masie M oraz ładunku dodatnim $+e$ i z elektronu, którego ładunek równy jest $-e$, a masa równa się m . Ażeby ten układ, złożony z dodatniego jądra i z ujemnego elektronu, mógł się znajdować w równowadze, konieczne jest, by elektron krążył koło jądra z taką szybkością, by jego siła odśrodkowa równoważyła siłę przyciągającą jądra. W myśl prawa Coulomba siła przyciągania jądra jest proporcjonalna do iloczynu ładunków jądra

i elektronu oraz odwrotnie proporcjonalna do kwadratu promienia drogi kołowej elektronu r , czyli $f_p = \frac{e^2}{r^2}$. Siła zaś odśrodkowa elektronu o masie m i szybkości v równa się $f_o = \frac{mv^2}{r}$; stąd otrzymujemy:

$$\frac{e^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \quad \dots \quad (1)$$

Bohr zakłada dalej, że w tym stanie równowagi dynamicznej elektron, krążący koło jądra atomowego, nie promieniuje. Zakłada on ponadto, że momenty ilości ruchu elektronu przedstawiają wielokrotności całkowite stałej uniwersalnej Plancka h , czyli innymi słowy, że

$$2\pi \cdot r \cdot m \cdot v = n \cdot h \quad \dots \quad (2)$$

gdzie n wyraża liczby całkowite: 1, 2, 3...

Z elektrostatyki wiadomo, że energia potencjalna elektronu W_p jest wprost proporcjonalna do iloczynu ładunków jądra i elektronu oraz odwrotnie proporcjonalna do promienia drogi elektronu r czyli

$$W_p = -\frac{e^2}{r},$$

energia zaś kinetyczna elektronu W_c równa się:

$$W_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \frac{e^2}{r} = -\frac{1}{2}W_p.$$

Zatem całkowita energia elektronu W równa się sumie obu energii składowych, czyli:

$$W = (W_p + W_c) = -\frac{e^2}{r} + \frac{1}{2} \frac{e^2}{r} = -\frac{1}{2} \frac{e^2}{r} \quad \dots \quad (3)$$

Stąd wynika, że całkowita energia elektronu W zależy wyłącznie od promienia opisywanej przezeń drogi. A że według założenia Bohra ten promień drogi elektronu może się zmienić tylko w sposób kwantowy, przeto energia całkowita elektronu W ulega tylko zmianom skokowym, odpowiadającym przejściu elektronu z jednej orbity na drugą, a mianowicie z orbity dalszej na orbitę bardziej zbliżoną do jądra atomowego. Elektron nie może się przeto zbliżyć do jądra atomo-

wego bardziej, niż na orbitę jednokwantową, dla której $n = 1$. Przeskakując z orbity, dla której $n > 1$ na orbitę $n = 1$, wysyła on energję promienistą, której częstotliwość drgań

$$\nu = \frac{\Delta W}{h}.$$

Na promień r drogi elektronu otrzymujemy z równania (1) i (2) wzór następujący:

$$r = \frac{h^2 \cdot n^2}{4\pi^2 \cdot m \cdot e^2} = A \cdot n^2 \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

z którego wynika, że promienie orbit trwałych elektronu są proporcjonalne do kwadratów liczb całkowitych n .

Aby wytłumaczyć prawidłowość, którą wykazują linje widmowe, Bohr czyni jeszcze 3-cie zasadnicze założenie: że elektron, krążący po trwałej orbicie n_1 nie promieniuje energii. Gdy wszakże wskutek gwałtownego zakłócenia stanu równowagi, zostanie on wyrzucony na orbitę bardziej odległą n_2 i gdy z tej nowej drogi wróci samorzutnie na orbitę pierwotną, wówczas straci część nabytej energii, wysyłając ją pod postacią promieni o pewnej określonej długości fali. Ta strata energii wyrazi się zapomocą wzoru następującego:

$$\begin{aligned} W &= -(W_2 - W_1) = W_1 - W_2 = \frac{2\pi^2 \cdot m \cdot e^4}{h^2} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) = \\ &= \nu h, \quad . \quad . \quad . \quad (5) \end{aligned}$$

który otrzymujemy z równania (3) po podstawieniu w niem wartości na r z równania (4). Jeśli w tem wyrażeniu założymy

$$\nu_o = \frac{2\pi^2 \cdot m \cdot e^4}{h^3}, \quad . \quad . \quad . \quad (5a)$$

to otrzymamy dla częstości drgań fali świetlnej równanie

$$\nu = \nu_o \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

identyczne pod względem formy ze znanem równaniem Balmera, w którym ν_o odpowiada stałej Rydberga, $\nu_o = R = 3,29033 \cdot 10^{15}$.

Bohr zastosował równanie (6) do wodoru. W tym wypadku mamy: $m = 0,9 \cdot 10^{-27}$ g; $e = 4,774 \cdot 10^{-10}$ jed. el. stat; $h = 6,545 \cdot 10^{-27}$

Jeśli wartości te wstawimy do równania (6a), to otrzymamy na ν_0 wartość

$$\nu_0 = 3,2940 \cdot 10^{15}$$

zgodną w granicach błędów doświadczalnych z wartością liczbową stałej Rydberga, która wynosi: $R = 3,29033 \cdot 10^{15}$.

W przypadku najprostszym wodoru, którego atom składa się z jądra, posiadającego tylko jeden ładunek dodatni i z krążącego koło tego jądra jednego elektronu, model Bohra zdaje nam całkowicie sprawę z prawidłowości linii widmowych tego pierwiastka. Z modelu Bohra wynika bowiem, że promienie dróg elektronowych mają się do siebie tak, jak kwadraty początkowych liczb całkowitych, a mianowicie:

$$r_1 : r_2 : r_3 : r_4 \dots = 1^2 : 2^2 : 3^2 : 4^2 \dots,$$

szybkości zaś elektronów, krążących po tych drogach, mają się do siebie, jak:

$$\nu_1 : \nu_2 : \nu_3 : \nu_4 \dots = 1 : \frac{1}{2} : \frac{1}{3} : \frac{1}{4} : \dots$$

Najprostsze wydaje się przypuszczenie, że normalny atom wodoru znajduje się w stanie, wykazującym minimum jego energii wewnętrznej, co zachodzi wówczas, gdy elektron krąży wzdłuż drogi, położonej najbliżej jądra atomowego, dla której $n = 1$; przeto z równania (4)

$$r_1 = \frac{h^2}{4\pi^2 \cdot m \cdot e^2} = 0,55 \cdot 10^{-8} \text{ cm.}$$

można obliczyć promień tej drogi oraz promienie dróg następnych, dla których otrzymujemy:

$$\begin{array}{ll} r_1 = 0,55 \cdot 10^{-8} \text{ cm} & r_4 = 8,90 \cdot 10^{-8} \text{ cm} \\ r_2 = 2,22 \text{ „} & r_5 = 13,90 \text{ „} \\ r_3 = 5,00 \text{ „} & \end{array}$$

Wykreślając koła, odpowiadające tym promieniom, względnie ich wielokrotnościom, otrzymamy model budowy atomu wodoru, z którego wynika, co następuje: jeśli elektron przeskakuje z orbity dalszej na bliższą, to oddaje on na zewnątrz część energii, której wielkość odpowiada jednemu kwantowi energii. Z tego kwantu energii obliczyć można liczbę drgań na sekundę, charakteryzującą barwę wysyłanego światła.

Jeśli więc elektron przeskakuje z orbity 3-ej na 2-gą, to

emitowana przezeń energia jest proporcjonalna do różnicy $\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right)$, a gdy przeskakuje z orbity 4-ej na drugą, do różnicy $\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2}\right)$. Różnice takie występowały we wzorze Balmera dla linii widma wodorowego. Również i współczynnik proporcjonalności R zgadza się zupełnie z wartością liczbową stałej Rydberga. W ogólności zatem elektron, przeskakujący z orbity m na 2-gą orbitę, wywoła drgania, których częstość wyrazi się wzorem:

$$\nu = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right).$$

W ten sposób powstają fale światła, których liczba drgań odpowiada linjom widocznego widma wodorowego serii Balmera.

⊗ W ogólności więc otrzymujemy dla wodoru następujące równanie na częstość drgań ν promieni, wysyłanych podczas przeskoku elektronu z orbity p na orbitę k :

$$\nu = R \cdot Z^2 \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{p^2} \right).$$

W równaniu tem R oznacza stałą Rydberga, Z —liczbę porządkową pierwiastka, k i p zaś oznaczają proste liczby całkowite: 1, 2, 3 Dla wodoru, którego liczba porządkowa = 1, otrzymujemy następujące serie prążków jego widma, które częściowo znane były już przed ogłoszeniem teorii Bohra:

1) seria Lymana (odkryta w r. 1906):

$$\nu = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right), \text{ gdzie } n = 2, 3, 4 \dots$$

2) seria Balmera (odkryta w r. 1885):

$$\nu = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right), \text{ gdzie } n = 3, 4, 5 \dots$$

3) seria Ritza i Paschena (odkryta w r. 1908):

$$\nu = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right), \text{ gdzie } n = 4, 5, 6 \dots$$

4) seria Bracketta (odkryta w r. 1922):

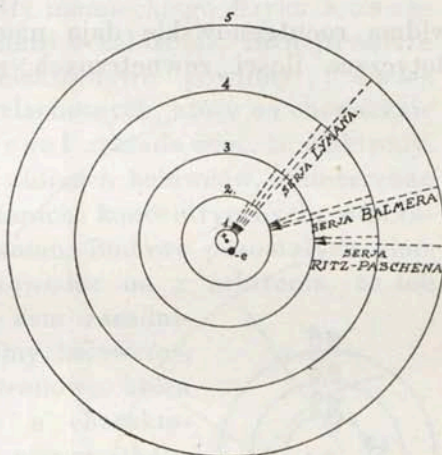
$$\nu = R \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right), \text{ gdzie } n = 5, 6, 7 \dots$$

5) serja Pfunda (odkryta w r. 1924):

$$\nu = R \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right), \text{ gdzie } n = 6, 7, 8 \dots \quad \boxtimes$$

\boxtimes Schemat powstawania seryj widmowych wodoru ilustruje dość dobrze rys. 119. Oznaczono w nim 5 pierwszych torów elektronowych, odpowiadających pierwszym 3 serjom prążków widma wodoru: serja Lymana podaje prążki widma pozafioletowego, serja Balmera — prążki widma widzialnego i serja Ritza i Paschena — prążki, obserwowane w podczerwieni. \boxtimes

\boxtimes D. Powstawanie widm promieni Roentgena. Teoria Bohra pozwoliła również wyjaśnić budowę widm roentgenowskich, które dają się wyrazić zapomocą równania, podanego na str.



Rys. 119.

Model atomu wodoru według Bohra.

321, podobnego do równania seryj widm promieni widzialnych:

$$\nu = C^2 (Z - 1)^2$$

dla prążków serji K, w ogólności zaś

$$\nu = R (Z - 1)^2 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right). \quad \boxtimes$$

\boxtimes Wiemy już, że struktura tych widm zależy wyłącznie od liczby porządkowej pierwiastka; wskazuje to, że w powstawaniu widm roentgenowskich uczestniczą elektrony powłok zewnętrznych, położonych w pewnem oddaleniu od jądra. Według teorii Kossela widmo Roentgena powstaje wskutek przeskoków elektronów, krążących po torach bardziej zewnętrznych, na tory, położone bliżej jądra atomu. Podczas przeskoku na tor pierwszy otrzymujemy prążki serji K, podczas przeskoku na tor drugi — prążki serji L i t. d. Aby taki przeskok stał się możliwy, jeden z elektronów warstwy najbliższej jądra, t.j. warstwy K musi być usunięty, co zostaje osiągnięte przez bombardowanie atomów elektronami o dostatecznej pręd-