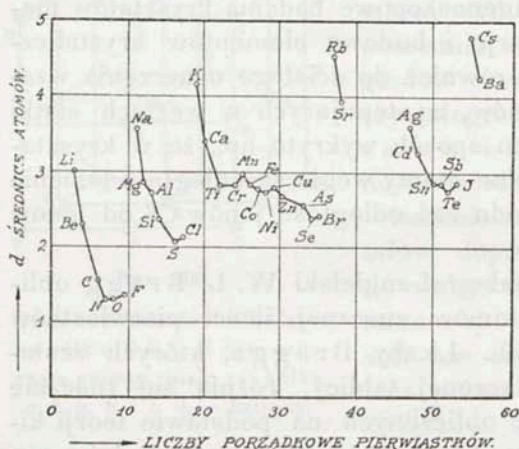


istotne wymiary atomów, a mianowicie średnicę zewnętrzną powłoki elektronowej, o której później będzie mowa.

Średnice atomowe wykazują zależność periodyczną od ciężarów atomowych pierwiastków, jak wynika z następującego



Rys. 102.

Periodyczna zależność średnic atomów od ciężarów atomowych.

wykresu (rys. 102). Największe średnice posiadają atomy potasowców, należących do I-ej grupy układu periodycznego i rozpoczynających krótkie i długie okresy. Wapniowce posiadają znacznie mniejsze średnice, jeszcze mniejsze—glinowce i t.d. Widzimy więc tę samą zależność periodyczną średnic atomowych od ciężarów atomowych poszczególnych pierwiastków, jaką poprzednio

stwierdziliśmy dla względnych objętości atomowych (por. str. 17). Próby racjonalnego wytłumaczenia tej zależności omówimy po zapoznaniu się z wewnętrzną budową atomów.

2. SKŁADNIKI ATOMÓW.

A. Uwagi ogólne. W pojęciu chemików XIX stulecia atomy były to niepodzielne jednolite masy materji, obdarzone charakterystycznymi własnościami. Wprawdzie założeniu temu zdawały się przeczyć pewne własności atomów, np. złożoność ich widma, zmiana wartościowości, periodyczna zależność wielu własności fizycznych i chemicznych od ciężarów atomowych i t. p. Dopiero jednak poznanie zjawisk samorzutnego rozkładu pierwiastków promieniotwórczych dostarczyło pierwszych doświadczalnych dowodów złożonej budowy wewnętrznej atomów. Dzięki zbadaniu pierwiastków promieniotwórczych posiadamy obecnie pewne wiadomości o tej zagadkowej budowie. Wkraczamy tu wprawdzie w dziedzinę hipotez, ale hipotezy,

dotyczące budowy atomów, nie są czemś zupełnie dowolnem lecz wypływają, podobnie jak hipotezy o budowie cząsteczek związków chemicznych, z danych doświadczalnych, a wysnuwane z nich wnioski dają się sprawdzać zapomocą doświadczeń.

Według najnowszych poglądów atomy materji są zbudowane z dwóch części. Rozróżniamy obecnie *sferę zewnętrzną* atomu od jego *sferę wewnętrzną*, zwanej »jądrem atomowem«. W skład powłoki *zewnętrznej* atomu wchodzi wyłącznie elektrony. Natomiast ośrodek atomu czyli jądro jego posiada skład bardziej złożony.

Zanim przejdziemy do omówienia najważniejszych hipotez, dotyczących budowy atomów, musimy się zapoznać z istotnymi częściami składowymi tej budowy.

B. Elektron jako składnik atomu. W skład atomów wszystkich pierwiastków wchodzi niewątpliwie elektrony, czyli atomy elektryczności ujemnej. Bardzo liczne zjawiska potwierdzają słusność tego przypuszczenia. Najdawniej znanym dowodem są niewątpliwie prawa elektrolizy roztworów, wykryte przez Faradaya już w r. 1833. Z pomiarów Faradaya oraz z badań późniejszych uczonych wiadomo bowiem, że 1 gramatom pierwiastka jednowartościowego przenosi podczas elektrolizy ilość elektryczności, wynoszącą 96490 kulombów, czyli $= 2,895 \cdot 10^{14}$ jedn. elektrostatycznych. Znając liczbę poszczególnych atomów, zawartych w jednym gramatomie każdego pierwiastka, czyli t. zw. stałą Loschmidta, $N = 6,06 \cdot 10^{23}$, obliczamy na podstawie tych danych, że wielkość ładunku elektronu e równa się:

$$e = 4,774 \cdot 10^{-10} \text{ jedn. elektrostat.}$$

Zjawiska przenoszenia się elektryczności w rozrzedzonych gazach, odkryte przez Plückera w r. 1859, oraz zjawiska jonizacji gazów dostarczają dalszych dowodów istnienia elektronów. Wiadomo bowiem, że gazy, poddane działaniu promieni Roentgena lub promieni α , wysyłanych przez pierwiastki promieniotwórcze, stają się wskutek powstawania w nich jonów gazowych dobrymi przewodnikami elektryczności. Z pomiarów szybkości ruchu jonów gazowych pod wpływem znanego pola elektrycznego Townsend obliczył w r. 1899 wielkość ładunku elektronu: $e = 4,784 \cdot 10^{-10}$ jedn. elektrostatycznych, co zgadza się z ładunkiem elektronowym, obliczonym z elektrolizy.

Dalej wiadomo, że tak zwane promienie katodowe, wysyłane przez katodę w rurkach Crookesa, są strumieniami wolnych elektronów. Szybkość ruchu promieni katodowych wynosi według pomiarów I. Thomsona od 30 000 do 100 000 km/sek, czyli zbliża się pod względem rzędu wielkości do szybkości światła (300 000 km/sek).

Wspominaliśmy wyżej, że stosunek ładunku elektrycznego do masy $\left(\frac{e}{m}\right)$ cząstek katodowych jest 1840 razy większy od stosunku ładunku do masy jonów wodorowych. Wynika z tego, że masa elektronu jest 1840 razy mniejsza od masy atomu wodoru.

Z danych doświadczalnych obliczono również wartość promienia elektronu:

$$r = 1,85 \cdot 10^{-13} \text{ cm},$$

skąd wynika, że jest on przeszło 100 000 razy mniejszy od promienia atomu wodoru.

Omawiając zjawiska przewodzenia elektrycznego metali, zaznaczyliśmy, że odbywa się ono za pośrednictwem elektronów, istniejących we wszystkich metalach w stanie wolnym (bądź luźno związanym). Elektrony odrywają się też z łatwością od atomów metali w wyższych temperaturach lub pod wpływem promieni ultrafioletowych i promieniają w przestrzeń.

Stwierdzono wreszcie dla pierwiastków promieniotwórczych, że wysyłane przez nie promienie β są, podobnie jak promienie katodowe, strumieniami wolnych elektronów, poruszających się z szybkością niewiele mniejszą od szybkości światła.

Całokształt tych faktów stwierdza więc niezbicie, że elektrony wchodzi w skład atomów wszystkich znanych nam pierwiastków chemicznych. Niektóre z nich muszą być dość luźno związane z główną masą atomu, skoro atomy pierwiastków, zwłaszcza metalicznych mogą tak łatwo je tracić, przetwarzając się w jony.

C. Elektroododatnie składniki atomów. W promieniach katodowych oraz w promieniach pierwiastków promieniotwórczych mieliśmy do czynienia z elektronami, czyli z wolnymi atomami elektryczności ujemnej. Możliwość istnienia wolnych atomów elektryczności dodatniej została stwierdzona dopiero w ostatnich czasach. Najmniejsze ilości elektryczności dodatniej, jakie dotychczas obserwowano, związane są prze-

ważnie z atomami materji, są więc jonami dodatnimi. Promienie dodatnich jonów wykrył Goldstein w r. 1886 w rurkach Crookesa. Są one wysyłane, podobnie jak promienie katodowe, przez katodę — lecz w przeciwnym kierunku.

Promienie α pierwiastków promieniotwórczych są również zasadniczo strumieniami dodatnich jonów helu, poruszających się z olbrzymimi szybkościami i niosących podwójny ładunek elektryczności dodatniej.

Dotychczas znamy 39 pierwiastków promieniotwórczych, powstałych wskutek rozkładu uranu i toru. Ponieważ podczas tego rozkładu wydzielają się cząstki α czyli atomy helu, wynika więc z tego, że wchodzi one w skład atomów znacznej ilości pierwiastków chemicznych, jeśli nie wszystkich.

⊗ *D. Pozytony.* Z »teorii elektronu«, wyprowadzonej przez Diraca, wynika, że — oprócz ujemnych cząstek elektrycznych, które nazwaliśmy »elektronami«, — muszą istnieć również wolne dodatnie elementarne naboje elektryczne, nie związane bezpośrednio z atomami materji. W istocie w r. 1932 amerykański fizyk Anderson odkrył takie cząstki dodatnie podczas badania »promieni kosmicznych« w komorze wilsonowskiej. Fotografje torów pocisków jonizujących, utworzonych przez promienie te w polu magnetycznem, wykazały wyraziście oprócz torów elektronów ujemnych również tory naboju dodatnich o masie równej masie elektronu ($\frac{1}{1840}$ masy atomu wodoru). W r. 1933 Blackett i Occhialini dowiedli, że podczas pochłaniania promieni gamma przez materję ciężkich atomów powstają również dodatnie elektrony. Heitler i Bethe uzasadnili, rozwijając teorię Diraca, że odbywają się w tych zjawiskach przemiany energii promieniowania, podczas których powstają jednocześnie pary elektronów: jeden o ładunku ujemnym a drugi — dodatnim. ⊗

⊗ Na podstawie tych nowych badań przyjmujemy obecnie istnienie dwóch rodzajów »elektronów«: dodatnich i ujemnych. Dodatnie elektrony nazywamy »pozytonami«, ujemne zaś — »negatonami« (rezerwując w ten sposób starą nazwę »elektronów«, jako pojęcie ogólne dla oznaczania cząstek o masie równej $\frac{1}{1840}$ masy atomu wodoru, posiadających elementarny ładunek elektryczny). ⊗

⊗ Prawie równocześnie z temi odkryciami p. Irena Curie-Joliot i jej mąż F. Joliot stwierdzili, że pozytony zostają wypromieniowywane również przez pewne pierwiastki promieniotwórcze, otrzymane »sztucznie« przez tych badaczy. O badaniach tych, potwierdzonych również przez p. Lizę Meitner i Philippa, pomówimy obszerniej w osobnym rozdziale. ⊗

⊗ *E. Neutrony.* Rothe i Becker badali w r. 1930 działanie cząstek α , otrzymanych z polonu, na różne lekkie pierwiastki: lit, beryl, bor i inne. Zauważyli oni, że pierwiastki te, a w szczególności *beryl* wysyłają pod działaniem promieni α niezwykle przenikliwe promienie, przewyższające swą przenikliwością promienie γ pierwiastków promieniotwórczych. Zjawisko to obserwowali później pp. Irena Curie-Joliot i F. Joliot, umieszczając na drodze promieni tych pewne substancje, zawierające wodór, np. parafinę, papier i t. p. Z pomocą »komory wilsonowskiej« stwierdzili oni, że promienie te wyzwalają protony z substancyj, zawierających wodór. ⊗

⊗ Chadwick na podstawie dokładnego badania tych promieni doszedł do wniosku, że promienie, wyzwalane przez beryl pod działaniem szybkich cząstek α , składają się z cząstek *materiałnych*, nie posiadających wcale ładunku elektrycznego, których masa jest nieco mniejsza od masy protonu. Cząstki te Chadwick nazwał *neutronami*. Możemy więc rozpatrywać neutron jako połączenie protonu z elektronem, lub też jako proton, pozbawiony ładunku dodatniego. Ponieważ neutrony nie posiadają wcale ładunków elektrycznych, mogą przeto swobodnie przenikać przez materję, nie ulegając pochłanianiu. Siły pól elektrycznych jąder i elektronów nie wywierają bowiem działania na cząstki obojętne. W ten sposób można objaśnić przenikliwość promieni »neutronowych«. ⊗

⊗ Chadwick obliczył masę neutronu z równania rozkładu boru cząstkami α i otrzymał w ten sposób następującą liczbę:

$$\text{masa neutronu} = 1,0068. \quad \otimes$$

⊗ Masa neutronu jest przeto o 0,0004 jednostki mniejsza niż masa protonu. Nieco większą wartość otrzymali p. I. Curie i Jolliot. Z przemian atomów boru oraz glinu obliczyli oni, że masa neutronu powinna się równać 1,01, czyli nieco więcej niż masa protonu. ⊗

⊗ Jako składniki atomów pierwiastków chemicznych znamy

więc elektrony (czyli ładunki ujemne \ominus , zwane też »negatonami«), pozytony (czyli ładunki dodatnie \oplus), protony (H), jądra helu (He) oraz obojętne »neutrony«. Z tych cegiełek elementarnych zbudowana jest zatem masa atomu. Że jednak atom jest układem nietrwałym, wynika stąd, że ulega on samorzutnemu rozkładowi, i że rozkładowi atomów pierwiastków promieniotwórczych towarzyszy wydzielanie się olbrzymich ilości wolnej energii. Wiemy wszak, że jeden cm^3 emanacji radowej, wydziela podczas całkowitego rozkładu 24 000 Kal ciepła, czyli 10 milionów razy więcej, niż wytwarza się podczas spalania 1 cm^3 mieszaniny piorunującej wodoru z tlenem. \boxtimes

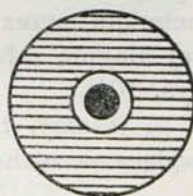
3. WEWNĘTRZNA SFERA ATOMU.

A. *Dwie sfery atomu.* Znamy dwa rodzaje emisji elektronów przez pierwiastki chemiczne. Do pierwszego rodzaju zaliczamy promienie katodowe, promienie termo-elektronowe oraz promienie foto-elektronowe, które możemy wywoływać dowolnie i które nie wywołują zmian natury chemicznej substancji promieniującej. Do drugiej kategorii należą promienie β , wysyłane samorzutnie przez pierwiastki promieniotwórcze i wywołujące zmianę charakteru chemicznego materii, wysyłającej te promienie.

Dane powyższe skłoniły fizyków do wniosku, że w atomach istnieją co najmniej dwie różne sfery elektronowe, a mianowicie sfera zewnętrzna, którą elektrony z łatwością opuszczają, nie naruszając budowy atomu, oraz sfera wewnętrzna, wchodząca w skład t. zw. jądra atomowego, które podczas procesów promieniotwórczych ulega głębokiej przemianie wewnętrznej (rys. 103).

Zjawiska emisji cząstek α przez pierwiastki promieniotwórcze podczas ich samorzutnego rozpadu zarówno jak rozbitcie atomów pewnych pierwiastków gazowych na jony wodoru oraz na jony izotopu helu, dokonane przez Rutherforda, wskazują, że w skład jądra atomowego wchodzi niewątpliwie oprócz neutronów jony wodoru (H), czyli protony.

Na podstawie tych danych doświadczalnych Rutherford doszedł do wniosku, że w atomach istnieją dwie sfery o różnoimiennych ładunkach elektrycznych, a mianowicie: 1^o cen-



Rys. 103.

Model atomu
Rutherforda.

tralne jądro, naładowane dodatnio i skupiające w sobie całą masę atomu — oraz 2^o sfera zewnętrzna, naładowana ujemnie, utworzona przez elektrony. Sfera zewnętrzna, otaczająca jądro, zbudowana jest z kilku powłok elektronowych. Najbardziej zewnętrzna powłoka zawiera elektrony zewnętrzne, zwane elektronami wartościowości, od których zależy wartościowość pierwiastków, zarówno jak i własności chemiczne i pewne własności fizyczne. Warstwa środkowa wysyła pod wpływem promieni katodowych promienie roentgenowskie.

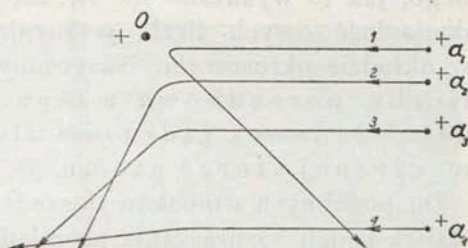
B. Ładunek jądra i liczba elektronów w sferze zewnętrznej. Na istotę jądra atomowego rzuciły pierwsze światło badania Rutherforda i jego uczniów nad rozpraszaniem promieni α podczas przechodzenia ich przez cienkie blaszki metalowe. Próby wytłumaczenia wyników tych badań naprowadziły Rutherforda na myśl, że cała masa atomu wraz z jego ładunkiem elektrododatnim skupia się w bardzo małym jądrze wewnętrznym. Jądro to otacza mgławica elektronów. Jeśli przeto cząstka α przelatuje przez zbudowany w ten sposób atom w znacznym oddaleniu od jądra, — to wskutek przyciągania, wywieranego na nią przez elektrony, zboczy ona cokolwiek z pierwotnego kierunku drogi. Wiązka równoległych promieni α ulegnie przeto rozproszeniu czyli zostanie nieznacznie ugięta. Gdy natomiast cząstka α przelatuje przez atom w bezpośrednim pobliżu jądra, jak to ilustruje załączony rysunek 104 na str. 319, to zostaje ona gwałtownie odępcnięta przez dodatni ładunek jądrowy, dzięki czemu droga jej ulegnie załamaniu w kierunku przeciwnym (por. tor 1 na rys. 104).

⊗ Wiemy, że ilość energii kinetycznej, niesionej przez ciało, będące w ruchu:

$$E = \frac{1}{2} m v^2.$$

Cząstki α stanowią pociski, posiadające dość znaczną masę ($0,66 \cdot 10^{-24}$ g) i ogromne szybkości, dochodzące do $2 \cdot 10^9$ cm na sek, a więc energia cząstek α przy jednakowej masie jest 100 milionów razy większa od energii pocisków armatnich. Podczas zderzeń z atomami innych pierwiastków cząstki α odchylają się wskutek elektrostatycznej siły odpychania, istniejącej pomiędzy dodatnim ładunkiem cząstki α i również dodatnim ładunkiem jądra atomu. Kąt odchylenia cząstki α jest

tem większy, im mniejsza jest odległość cząstki α od jądra atomu, jak to wykazuje rys. 104. Wynika to z prawa Coulomba, że siła odpychania ładunków elektrycznych jednoimiennych jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości. Najbliżej jądra O (rys. 104) przebiega tor 1 cząstki α_1 , która ulega najgwałtowniejszemu odchyleniu. Fotografując drogę cząstek α w »komorze wilsonowskiej« (jak to opisano na str. 257), możemy eksperymentalnie potwierdzić odchylenie, wywołane przez zderzenie cząstki α z jądrem. ☒



Rys. 104.

Odchylenie promienia α podczas zderzeń z jądrem atomu.

☒ Rutherford oznaczył kąty odchylenia cząstek α , przebiegających w pobliżu jądra atomu podczas ich przenikania przez materię, i na podstawie prawa Coulomba obliczył ładunki elektryczne jąder atomowych różnych pierwiastków. Wyniki obliczeń doprowadziły go do wniosku, że ładunek jądra równa się w przybliżeniu połowie ciężaru atomowego pierwiastka. Nieco później van den Broek wygłosił przypuszczenie, że ładunek jądra atomowego powinien równać się ściśle liczbie porządkowej badanego pierwiastka. Stwierdził to w r. 1920 doświadczalnie Chadwick, który z odchylenia cząstek α oznaczył następujące liczby porządkowe: ☒

☒

TABLICA 60.

Liczby porządkowe kilku pierwiastków, obliczone przez Chadwicka z odchylenia cząstek α .

Pierwiastek	Liczba porządkowa Z obliczona	Liczba porządkowa Z rzeczywista
Cu	29,3	29
Ag	46,3	47
Pt	77,4	78

☒

☒ Z drugiej zaś strony wiadomo, że atom, jako całość, jest elektrycznie obojętny. Jeżeli więc jądro atomu posiada

ładunek dodatni, którego wielkość ma się równać liczbie porządkowej danego pierwiastka, to ładunek ten musi być wewnątrz atomu zubożony przez taką samą ilość jednostek elektryczności ujemnej t. j. przez równą liczbę elektronów (ponieważ każdy elektron nosi na sobie jednostkę ładunku ujemnego, jak to wykazano na str. 258). Wynika stąd szczególna doniosłość owych liczb, wskazujących miejsca pierwiastków w układzie okresowym. Nazywamy je liczbami porządkowymi: liczby porządkowe wskazują jednocześnie dodatni ładunek jądra oraz ilość elektronów w zewnętrznej sferze atomu. ☒

Do podobnych wniosków doszedł w r. 1911 Barkla na podstawie badań rozpraszania promieni X przez różne pierwiastki gazowe. W r. zaś 1914 nadał przypuszczeniom tym postać jeszcze bardziej konkretną Moseley na podstawie badań widm promieni X, wysyłanych przez różne pierwiastki stałe, użyte w charakterze antykatory w lampach Roentgena.

☒ *C. Prawo Moseley'a.* Promienie roentgenowskie powstają, jak wiadomo, pod wpływem promieni »katodowych«, padających na powierzchnię jakiegokolwiek ciała stałego, czyli na t. zw. »antykatedę«. Długości fal powstałych w ten sposób charakterystycznych promieni roentgenowskich zależą od natury pierwiastków, z których zbudowana jest antykateda (rys. 105). W ogólności widmo emisyjne roentgenowskie jest znacznie prostsze, niż widmo promieni widzialnych, wysyłanych przez te same pierwiastki. Widmo roentgenowskie składa się bowiem tylko z niewielkiej ilości pojedynczych prążków, które tworzą kilka seryj, oznaczanych zwykle literami: K. L. M. N. ... (rys. 105). ☒

☒ Zbadanie widm roentgenowskich różnych pierwiastków i wykrycie zależności pomiędzy długością fali wysyłanych promieni i miejscem badanego pierwiastka w układzie periodycznym (por. str. 9) zawdzięczamy angielskiemu fizykowi Moseley'owi, zmarłemu przedwcześnie w r. 1915 pod Galioli w czasie Wielkiej Wojny Europejskiej. Zależność tę ilustrują w sposób poglądowy dwa załączone poniżej wykresy (rys. 106 i 107). Pierwszy z nich przedstawia zależność pierwiastków kwadratowych z częstości drgań linii serji K widm badanych pierwiastków od ich ciężarów atomowych, drugi zaś zależność tych samych wielkości od »liczb porządkowych« badanych

pierwiastków w układzie okresowym. Z porównania obu wykresów łatwo się przekonać, że w pierwszym przypadku otrzymujemy nieregularną linię łamaną, podczas gdy w drugim zależność ta wyraża się doskonale *linią prostą*. Łatwo więc wyprowadzić proste równanie na częstość drgań ν , odpowiadającą prążkowi danej serji badanego pierwiastka.

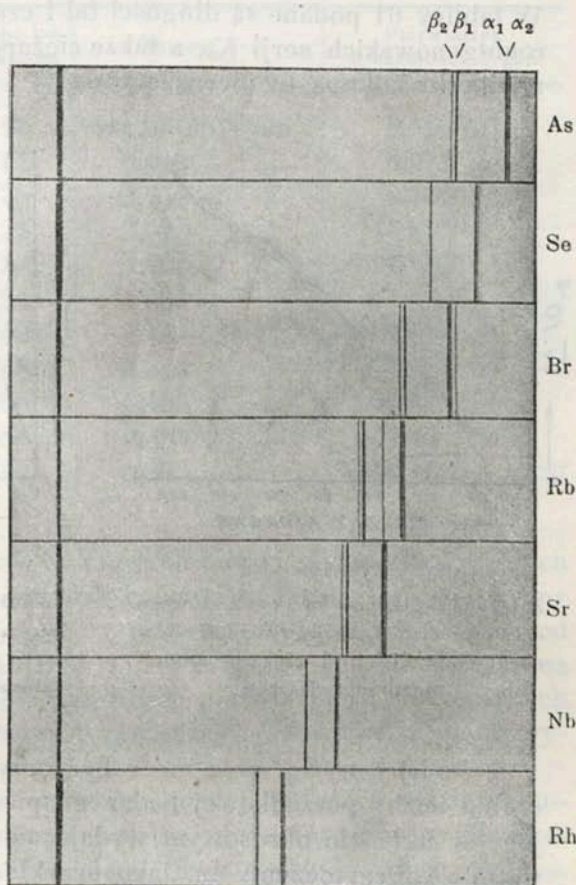
$$\sqrt{\nu} = C (Z - a),$$

w którym Z oznacza numer porządkowy danego pierwiastka, C i a — pewne wielkości stałe. Dla serji prążków K_α , których częstości drgań przytoczone są w tablicy 61, $a = 1$. Równanie powyższe przyjmuje wówczas postać:

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

Oznacza ono, że pierwiastek kwadratowy z częstości drgań promieni Roentgena, wysyłanych przez różne pierwiastki, wzrasta proporcjonalnie do ich liczb porządkowych. ☒

☒ Wiemy, że jednorodny promień światła o długości fali λ , wykonujący w ciągu sekundy ν drgań, przebiega w tym samym czasie drogę c , równą iloczynowi długości fali przez częstość drgań. Droga ta, zwana szybko-



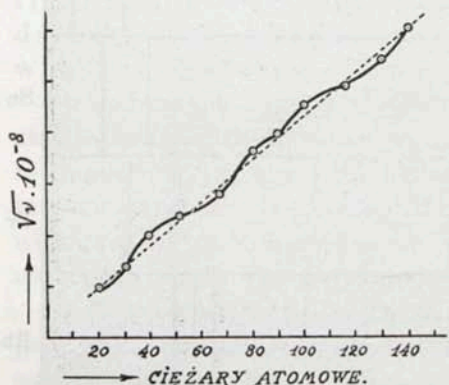
Rys. 105.

Prążki serji K promieni roentgenowskich, wysyłanych przez kilka pierwiastków, których symbole są podane z prawej strony rysunku (według Siegbahna i Frimana).

cia światła, wynosi 300 000 kilometrów, czyli $3 \cdot 10^{10}$ cm/sek. Stąd

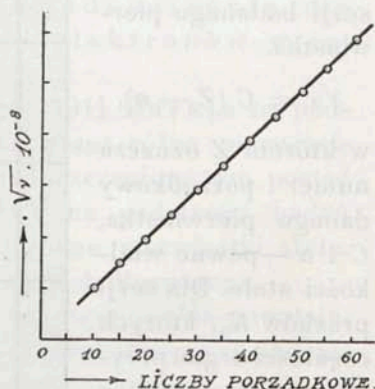
$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^{10}}{\lambda}.$$

W tablicy 61 podane są długości fal i częstości drgań promieni roentgenowskich serji K_{α} , a także ciężary atomowe i liczby porządkowe kilkunastu pierwiastków. ☒



Rys. 106.

Zależność pierwiastka kwadratowego częstości drgań prążków serji K widm roentgenowskich od ciężaru atomowego pierwiastków.



Rys. 107.

Zależność pierwiastka kwadratowego częstości drgań prążków serji K widm roentgenowskich pierwiastków od ich liczb porządkowych.

☒ Podany wyżej wzór może być oczywiście użyty do oznaczenia liczby porządkowej badanego pierwiastka, jeśli miejsce jego w układzie okresowym wydaje się z pewnych względów wątpliwe. Przytoczymy tu, jako przykłady, owe wyjątki w szeregu *ciężarów atomowych*, mianowicie: A i K , Te i J , wreszcie Co i Ni , o których była mowa w rozdziale I (t. II, str. 15). We wszystkich tych przypadkach okazało się, że liczby porządkowe wymienionych tu pierwiastków następują po sobie w porządku, odpowiadającym ich uszeregowaniu w układzie perjodycznym, a nie w porządku ich ciężarów atomowych. Wynika stąd, że właściwą cechą charakterystyczną pierwiastków, odpowiadającą prawu okresowości Mendelejewa, jest nie ciężar atomowy lecz liczba atomowa, wynikająca z prawa Moseley'a. ☒

⊗

TABLICA 61.

Częstości drgań promieni roentgenowskich serji K, wysyłanych przez pewne pierwiastki, i liczby porządkowe tych ostatnich.

Pierwias- tek	Ciężar atomowy	Liczba po- rządkowa	Długość fali	Pierwiastek z częstości drgań
Na	22,997	11	$11,951 \cdot 10^{-8}$ cm	$5,010 \cdot 10^8$
P	31,02	15	6,168 „ „	6,973 „
Ca	40,08	20	3,355 „ „	9,456 „
Mn	54,93	25	2,093 „ „	11,97 „
Zn	65,38	30	1,437 „ „	14,44 „
Br	79,916	35	1,035 „ „	17,03 „
Zr	91,22	40	0,788 „ „	19,51 „
Rh	102,91	45	0,615 „ „	22,08 „
Sn	118,70	50	0,487 „ „	24,82 „
Cs	132,81	55	0,398 „ „	27,45 „
Nd	144,27	60	0,330 „ „	30,15 „ ⊗

⊗ Z oznaczeń liczb atomowych pierwiastków ziem rzadkich wynika również konieczność zaliczenia ich do osobnej grupy poziomej, która obejmuje w ten sposób 14 pierwiastków: od Ce ($Z = 58$) do Lu ($Z = 71$). Wszystkie te pierwiastki są obecnie znane. Ogólna zaś liczba pierwiastków, mieszczących się w układzie okresowym pomiędzy wodorem i uranem, wynosi 92. ⊗

⊗ D. Powstawanie promieni roentgenowskich na »antykato-dzie« możemy wytłumaczyć sobie w następujący sposób. Promienie »katodowe«, składające się z szybkobieżnych elektro-nów, uderzając o atomy antykatody, wybijają z nich pojedyn-
cze elektrony, zawarte w zewnętrznej sferze atomów. Ponie-
waż wiemy, że promienie Roentgena, powstałe wskutek tych
zderzeń, tworzą kilka seryj o różnych długościach fal, mu-
simy przeto wnioskować, że elektrony, zawarte w sferze zew-
nętrznej atomu, nie znajdują się w jednej warstwie, lecz
w kilku warstwach i tworzą kilka »powłok elektronowych«
naokoło jądra. W najcięższych pierwiastkach, których atomy
zawierają około 90 elektronów, możemy stwierdzić powstawa-
nie 7-miu seryj promieni Roentgena, które oznaczać będziemy

literami: K , L , M , N , O , P i Q . Wynika z tego, że najwyższa ilość powłok elektronowych, osiągnięta w najcięższych pierwiastkach o najwyższych liczbach porządkowych, wynosi 7. Każda z nich jednak może składać się z kilku »podwarstw«. Badanie widm roentgenowskich daje więc ważne wskazówki, dotyczące rozmieszczenia elektronów w zewnętrznej sferze atomu. Wrócimy do tego zagadnienia w jednym z następnych rozdziałów. ☒

E. Naturalny układ pierwiastków. Prawo Moseley'a umożliwiło w ten sposób dokładne oznaczenie wielkości ładunków jądrowych atomów wszystkich pierwiastków.

Wiemy zaś z badań przemian pierwiastków promieniotwórczych, że każda przemiana, połączona z wysyłaniem promieni α , wywołuje zmniejszanie się ciężaru atomowego danego pierwiastka o 4 jednostki oraz przesuwają miejsce produktu przemiany w układzie periodycznym o dwa miejsca na lewo, zmniejszając jego ładunek jądrowy o dwie jednostki. Każda przemiana promieniotwórcza, połączona z wysyłaniem promieni β , nie zmienia naprawdę ciężaru atomowego pierwiastka, wywołuje jednak przesunięcie produktu przemiany w układzie periodycznym o jedno miejsce na prawo, wywołując zwiększenie ładunku jądrowego o jedność. Wynika stąd, że jeżeli w szeregu przemian promieniotwórczych po przemianie, połączonej z promieniowaniem α , następują dwie przemiany połączone z promieniowaniem β , to aczkolwiek skutek tych trzech przemian ciężar atomowy pierwiastka zmniejszy się o 4 jednostki, jednak ładunek jądrowy nie ulega zmianom, a więc nie zmienia się także miejsce pierwiastka w układzie periodycznym. Otrzymamy więc w wyniku tych 3 przemian »izotop« pierwiastka wyjściowego, t. j. produkt, posiadający wprawdzie mniejszy ciężar atomowy, lecz wykazujący te same własności chemiczne, co pierwiastek macierzysty.

Jako przykład przemian tego typu może służyć uran UI , który, tracąc jedną cząstkę α , zamienia się na UX_1 ; ten produkt przemiany traci jedną cząstkę β i zamienia się na UX_2 , który, tracąc drugą cząstkę β , zamienia się na UII , izotop zwykłego uranu.

Podobnie tor, tracąc cząstkę α , zamienia się na mezotor 1 ($MsTh_1$), który promieniuje cząstkę β i zamienia się na mezotor 2 ($MsTh_2$); ten ostatni zaś, promieniując drugą cząstkę β , daje radjotor, wykazujący te same własności, co tor macierzysty.

⊗ Odwrotnie zaś przekonywujemy się, że kilka pierwiastków, nie różniących się (prawie) pomiędzy sobą ciężarami atomowymi, np. UX_1 , UX_2 i UII , lub $MsTh_1$, $MsTh_2$ i $RaTh$ w wyżej przytoczonych przykładach, posiadać mogą różne liczby porządkowe i zajmować różne miejsca w układzie okresowym. Takie pierwiastki, które posiadają jednakowe ciężary atomowe, różniąc się od siebie charakterem chemicznym i miejscami w układzie okresowym, zwiemy »pierwiastkami izobarycznymi« lub »izobarami«. ⊗

Układ perjodyczny pierwiastków odzwierciadla nam tylko pewne cechy zewnętrznej powłoki elektronowej atomów, tylko bowiem powłoka elektronowa zmienia się w sposób perjodyczny wraz ze wzrostem ładunku jądra atomów. Jeżeli więc ładunek jądra atomowego wzrasta o 8 jednostek w perjodach krótkich, w perjodach długich zaś o 18 jednostek, otrzymujemy wówczas pierwiastek, którego zewnętrzna powłoka elektronowa jest zbudowana w podobny sposób, jak zewnętrzna powłoka elektronowa pierwiastka wyjściowego. Wobec tego oba pierwiastki wykazują podobne własności chemiczne i posiadają widma świetlne o podobnej budowie. Perjodyczność własności stanowi przeto cechę charakterystyczną zewnętrznej, a nie wewnętrznej sfery atomów.

⊗ Za przykładem Bohra możemy uszeregować 92 znane pierwiastki w 7 okresów (odpowiadających rzędom poziomym układu Mendelejewa, przedstawionego na str. 9). Jakkolwiek okresy te znacznie różnią się od siebie pod względem ilości ich członów, jednak przejawia się w nich prosta prawidłowość, zwana »regulą Rydberga«:

I okres zawiera	$2 = 2 \cdot 1^2$	pierwiastków
II „ „	$8 = 2 \cdot 2^2$	„
III „ „	$8 = 2 \cdot 2^2$	„
IV „ „	$18 = 2 \cdot 3^2$	„
V „ „	$18 = 2 \cdot 3^2$	„
VI „ „	$32 = 2 \cdot 4^2$	„
VII „ „	$(32) ?$	„

W ogólności więc liczba pierwiastków każdego okresu daje się wyrazić zapomocą iloczynu:

$$2 \cdot n^2 \text{ pierwiastków,}$$

w którym n jest jedną z prostych liczb całkowitych ($n=1, 2, 3, 4$).

Wynika stąd możliwość istnienia pierwiastków o liczbach porządkowych większych od liczby porządkowej uranu, które nie występują w przyrodzie ze względu na ich nietrwałość. ☒

☒

TABLICA 62.

Układ okresowy podług Bohra.

1. H	3. Li — 11. Na	19. K — 37. Rb	55. Cs	87. —
2. He	4. Be — 12. Mg	20. Ca — 38. Sr	56. Ba	88. Ra
	5. B — 13. Al	21. Sc — 39. Y	57. La	89. Ac
	6. C — 14. Si	22. Ti — 40. Zr	58. Ce	90. Th
	7. N — 15. P	23. V — 41. Nb	59. Pr	91. Pa
	8. O — 16. S	24. Cr — 42. Mo	60. Nd	92. U
	9. F — 17. Cl	25. Mn — 43. Ma	61. II	
	10. Ne — 18. A	26. Fe — 44. Ru	62. Sm	
		27. Co — 45. Rh	63. Eu	
		28. Ni — 46. Pd	64. Gd	
		29. Cu — 47. Ag	65. Tb	
		30. Zn — 48. Cd	66. Ds	
		31. Ga — 49. In	67. Ho	
		32. Ge — 50. Sn	68. Er	
		33. As — 51. Sb	69. Tu	
		34. Se — 52. Te	70. Yb	
		35. Br — 53. J	71. Lu	
		36. Kr — 54. X	72. Hf	
			73. Ta	
			74. W	
			75. Re	
			76. Os	
			77. Ir	
			78. Pt	
			79. Au	
			80. Hg	
			81. Tl	
			82. Pb	
			83. Bi	
			84. Po	
			85. —	
			86. Em	

118. ?

☒ Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że liczba okresów (7) zgadza się z liczbą seryj widm roentgenowskich pierwiastków, która (jak to wskazano na str. 324) jest zgodna z liczbą »powłok elektronowych« w najcięższych atomach. Że zgodność ta nie jest bynajmniej dziełem przypadku, o tem przekonamy się niebawem z treści jednego z następnych rozdziałów. ☒

Dalej wnioskujemy z tej tablicy, że z ogólnej liczby pierwiastków chemicznych, która wynosi 92, nie wykryto dotychczas 2 pierwiastków, a mianowicie: w grupie VII nieobsadzone

jest miejsce Nr. 85, odpowiadające pierwiastkowi podobnemu do manganu, — a w grupie I-ej miejsce Nr. 87, które powinien zająć pierwiastek podobny do cezu.

⊗ *F. Hipoteza Prouta.* Porównując ciężary atomowe znanych pierwiastków, Prout już w 1815 r. zauważył, że są one zbliżone do liczb całkowitych. Ponieważ metody oznaczania tych wielkości były wówczas niedokładne, więc Prout miał prawo do przypuszczenia, że pewne odstępstwa ciężarów atomowych od liczb całkowitych wywołane są wyłącznie błędami doświadczalnymi. Za jednostkę ciężarów atomowych przyjmowano wówczas ciężar atomowy wodoru. Pragnąc objaśnić, czemu ciężary atomowe różnych pierwiastków są wielokrotnościami ciężaru atomowego wodoru, Prout przypuścił, że wodór jest prapierwiastkiem, z którego zbudowane są wszystkie inne pierwiastki. Wszystkie atomy są więc zespołami różnych ilości atomów wodoru. ⊗

⊗ Niestety hipoteza Prouta, tak prosta i przekonywująca została obalona przez okrutną rzeczywistość. Ścisłe pomiary ciężarów atomowych, wykonane przez Berzeliusa, a następnie Stasa, dowiodły bowiem niezbiecie, że ciężary atomowe nie dają się przedstawić zapomocą liczb całkowitych, jakkolwiek nie można zaprzeczyć, że większość ich jest mniej lub więcej zbliżona do tego ideału. Chcąc uratować hipotezę Prouta, następcy jego przyjmowali coraz mniejsze ułamki za podstawowe jednostki, oznaczające ciężar atomowy rzekomej »pra-materji«. Już Dumas zmuszony był przyjąć za jednostkę połowę ciężaru atomowego wodoru, inni zaś atomiści, którzy nie chcieli wyrzec się myśli o złożonej naturze pierwiastków, musieli zadowolić się ćwiartką, a nawet ósemką powyższej jednostki. Rzecz jasna, że wobec tego wielkość ciężaru atomowego »prapierwiastka« stała się mniejsza od błędów oznaczenia ciężarów atomowych, i w ten sposób cała kwestja została ostatecznie przesunięta z dziedziny doświadczenia do krainy mitu i fantazji. ⊗

⊗ W końcu XIX wieku zdawało się, że koncepcja złożonej budowy pierwiastków została ostatecznie pochowana. Kiedy jednak ogłoszone zostały znakomite badania o promieniotwórczości i rozpadzie pierwiastków, idea ta nanowo ożyła i rozkwitła w sposób nieoczekiwany. ⊗

⊗ Przedewszystkiem stwierdzić należy, że jakkolwiek nie

ulega kwestji, że istnieją pierwiastki, których ciężary atomowe dalekie są od liczb całkowitych, jak np.: Sb = 121,76, Ag = 107,88, Ba = 137,36 i t. d., to jednak uderzający jest fakt, że znaczna ilość pierwiastków posiada ciężary atomowe bardzo zbliżone do liczb całkowitych. Poniższa tabelka ilustruje tę uderzającą prawidłowość. ☒

☒ TABLICA 63.

Zestawienie pierwiastków, których ciężary atomowe różnią się mniej niż o 0,1 od liczb całkowitych.

A = 39,944	H = 1,0078	Pr = 140,92
Al = 26,97	He = 4,002	Ra = 225,97
As = 74,93	J = 126,92	Rh = 102,91
Be = 9,02	La = 138,92	Rn = 222
Bi = 209,00	Li = 6,940	S = 32,06
Br = 79,916	Lu = 175,0	Si = 28,06
C = 12,00	Mn = 54,93	Ti = 47,90
Ca = 40,08	Mo = 96,0	V = 50,95
Co = 58,94	N = 14,008	W = 184,0
Cr = 52,01	Na = 22,997	Y = 88,92
Eu = 152,0	O = 16,0000	
F = 19,000	P = 31,02	☒

☒ Z 85 pierwiastków, których ciężary atomowe oznaczone są z dokładnością co najmniej do 0,1, potrafiliśmy przytoczyć w powyższej tabelce 34 pierwiastki, których ciężary atomowe różnią się mniej niż o 0,1 od liczb całkowitych. W 7 przypadkach różnica ta jest nawet mniejsza od 0,01. Nie można tego uważać za ślepy przypadek, lecz przeciwnie należy w tem upatrywać wyraz pewnej ogólnej reguły. ☒

☒ Ale jeżeli tak, to w jaki sposób objaśnić można znaczne odstępstwa od liczb całkowitych, spotykane w innych przypadkach? Jaskrawym wyjątkiem od ogólnej reguły jest np. chlor, którego ciężar atomowy wynosi 35,457. Odpowiedź na to pytanie daje nam zjawisko izotopji, odkryte przez Fajansa i Soddy'ego na przykładach pierwiastków promieniotwórczych (por. str. 278, 289 i dalsze). W istocie oznaczenia i obliczenia ciężarów atomowych niektórych pierwiastków promieniotwórczych i produktów ich rozpadu (np. ołowiu radowego, ołowiu

torowego i ołowiu zwykłego) dowiodły, że istnieją pierwiastki jednakowe pod względem chemicznym i nierozdzielne zwykłymi metodami analizy chemicznej, które jednak posiadają różne ciężary atomowe («izotopy»). Jeżeli pierwiastki takie są pochodzenia promieniotwórczego, wówczas rozróżnić je możemy na podstawie ich okresów półtrwania albo ich pochodzenia. Jeżeli jednak natrafilibyśmy w przyrodzie na mieszaninę kilku izotopów, to nie moglibyśmy stwierdzić zwykłymi metodami, czy mamy do czynienia z czystym pierwiastkiem czy też z «mieszaniną izotopów». ☒

☒ Wychodząc z założenia o istnieniu w przyrodzie izotopów pierwiastków niepromieniotwórczych, możemy łatwo wytłumaczyć odstępstwa niektórych ciężarów atomowych od liczb całkowitych. Jeżeli np. przypuścimy istnienie dwóch izotopów neonu o całkowitych ciężarach atomowych: 20 i 21 to dojdziemy do wniosku, że mieszanina obu izotopów, posiadać powinna «średni» ciężar atomowy, który nie może być liczbą całkowitą. W rzeczywistości ciężar atomowy neonu wynosi 20,183, co dowodzi — z punktu widzenia powyższej hipotezy — że w mieszaninie przeważa ilość izotopu o ciężarze atomowym 20. ☒

☒ Doświadczenia potwierdzenie powyższego przypuszczenia zostało osiągnięte dzięki badaniom mas cząsteczek, zawartych w promieniach «kanalikowych». ☒

☒ *G. Promienie kanalikowe.* Wiemy, że w próżniowych rurkach, w których ciśnienie pozostałego gazu wynosi mniej, niż 0,0001 mm Hg, powstają pod wpływem wyładowań elektrycznych «promienie katodowe», będące strumieniami elektronów, biegnących w kierunku prostopadłym do katody (niezależnie od położenia anody w rurce). Odpowiednikiem promieni «katodowych», unoszących z sobą ładunki ujemne, są promienie «dodatnie», biegnące również od katody, lecz w kierunku odwrotnym. Promienie «dodatnie» zostały wykryte poraz pierwszy przez Goldsteina w r. 1886 dzięki zastosowaniu dziurkowanej katody, przedstawionej na rys. 108. W rurce tej promienie katodowe biegną od katody *K* ku dolnemu końcowi rurki, podczas gdy promienie «dodatnie» przechodzą przez liczne drobne otworki (czyli «kanaliki») katody *K* i biegną w górę. Stąd pochodzi nazwa promieni «kanalikowych». ☒

☒ Zapomocą pomiarów odchylenia promieni «kanalikowych» w polu elektrycznym i magnetycznym udało się oznaczyć