

5. MIEJSCA PIERWIASTKÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH W UKŁADZIE OKRESOWYM.

⊗ *Reguła Fajansa i Soddy'ego.* W powyższym zestawieniu naliczyć można około 40 pierwiastków promieniotwórczych. Pierwsze nowoodkryte pierwiastki promieniotwórcze np. rad, polon i emanację — udało się z łatwością umieścić w układzie okresowym, mianowicie w wolnych miejscach dwóch ostatnich rzędów poziomych. W miarę odkrywania coraz nowych pierwiastków zadanie to stawało się jednak coraz trudniejsze. ⊗

⊗ Wyjście z tego trudnego problemu udało się znaleźć dzięki uwzględnieniu istnienia »izotopów«, o których już mówiliśmy na str. 278. Okazało się bowiem, że istnieją pierwiastki różnego pochodzenia, jak np. ołów radowy, ołów torowy i ołów zwykły, które posiadają różne ciężary atomowe, pomimo ich fizycznej i chemicznej tożsamości. Oczywiście, takie izotopy powinny zajmować jedno miejsce w układzie okresowym. W ten sposób Fajans doszedł do przekonania, że jedno wolne miejsce w układzie tym może być zajęte albo przez jeden pierwiastek, lub też przez kilka izotopów, które w tym przypadku tworzą t. zw. »plejadę«. ⊗

⊗ W ten sposób dokonany został zasadniczy wyłom w dotychczasowej zasadzie klasyfikacji pierwiastków chemicznych. Dotąd uznawano bowiem za pewnik, że ciężar atomowy określa w sposób jednoznaczny zarówno miejsce danego pierwiastka w układzie periodycznym, jakoteż jego charakter chemiczny. ⊗

⊗ Istnieje jednak jeszcze inna trudność: z pośród pierwiastków promieniotwórczych niewiele żyje dostatecznie długo, aby można było je dokładnie zbadać, określić ich własności fizyczne i chemiczne, np. wartościowość, na podstawie których zwykle klasyfikujemy nowe pierwiastki w układzie okresowym. Poznaliśmy wszak pierwiastki, których okres życia mierzy się tysiącnymi, a nawet miljonowymi częściami sekundy. Jakże więc można myśleć o ich badaniu? ⊗

⊗ W tym zawiłym labiryncie nowych pierwiastków nicią przewodnią jest ogólna reguła, odkryta przez Russella i Fajansa, zwaną »regułą przesunięć«. Pozwala ona »obliczyć« miejsce danego pierwiastka w układzie okresowym, podobnie jak wyżej obliczyliśmy ciężar atomowy: podstawą obliczania

jest charakter promieniowania, podczas którego pierwiastek badany powstaje. ☒

☒ Przemiany pierwiastków promieniotwórczych można podzielić na dwa rodzaje: 1) przemiany, połączone z wysyłaniem cząsteczek α oraz 2) przemiany, którym towarzyszy emisja cząsteczek β . Wskutek przemian pierwszego rodzaju atomy pierwiastków promieniotwórczych rozpadają się na atomy helu, posiadające podwójny nabój dodatni, oraz na atomy nowego pierwiastka promieniotwórczego, którego ciężar atomowy jest mniejszy o 4 jednostki, a wewnętrzny ładunek elektryczny mniejszy o dwie jednostki elementarne elektryczności dodatniej. Druga kategoria przemian wywołuje utratę jednego tylko elektronu, wskutek czego otrzymujemy nowy pierwiastek, posiadający ten sam ciężar atomowy, ale odmienny charakter chemiczny.

Russell i Fajans doszli do wniosku, że podczas przemiany promieniotwórczej, połączonej z emisją cząstek α , powstaje nowy pierwiastek o charakterze bardziej elektrododatnim od substancji macierzystej, zajmujący w układzie okresowym miejsce, przesunięte o 2 miejsca na lewo.

Tak np. MTh_1 , który powstaje z toru (należącego do grupy IV układu perjodycznego) przez utratę jednej cząstki α , zajmuje miejsce w tym samym rzędzie poziomym w grupie II. Podobnie emanacja radowa, powstała wskutek utraty jednej cząstki α przez rad, należący do grupy II, wykazuje własności i zachowanie gazów szlachetnych i zajmuje stanowisko w grupie zerowej tego samego rzędu.

Co się tyczy przemian promieniotwórczych, połączonych z emisją promieni β , to Soddy i Fajans (1913) doszli do wniosku, że produkty tych przemian są bardziej elektroujemne od ich substancji macierzystych i zajmują w układzie perjodycznym miejsca, przesunięte o jedno na prawo. Np. UX_1 , identyczny z torem, należący zatem do grupy IV, tracąc jedną cząstkę β , zamienia się w UX_2 , należący do grupy V, ten zaś ostatni tracąc jeszcze jedną cząstkę β , zamienia się w UII , identyczny pod względem chemicznym z uranem zwykłym i zajmujący zatem miejsce w grupie VI.

Stosując konsekwentnie te dwie zasady, zdołano wykryć

następujące plejady pierwiastków izotopowych, z których część jest identyczna z pierwiastkami chemicznymi dawniej znanymi, część zaś należy do pierwiastków nowych i zajmuje w układzie perjodycznym miejsca dotychczas nieobsadzone.



TABLICA 53.

Plejady izotopów promieniotwórczych w dwóch ostatnich rzędach poziomych układu okresowego.

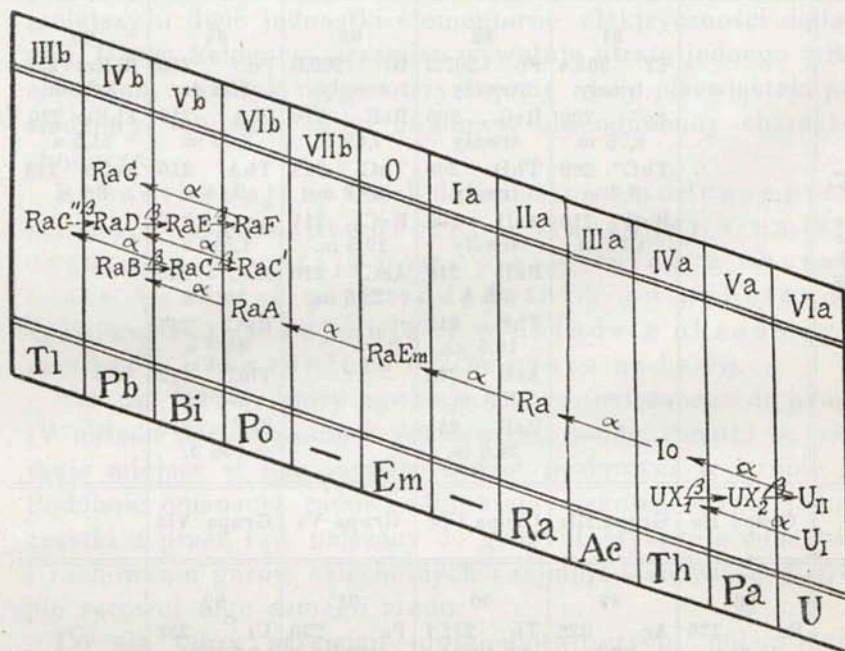
| | Grupa II | Grupa IIIb | Grupa IVb | Grupa Vb | Grupa VIb | Grupa O |
|-----------|---|---|---|--|--|--|
| Okres VI | | 81 Tl 204,4 trwały Ac'' 206 4,76 m ThC'' 208 3,2 m RaC'' 210 1,32 m | 82 Pb 207,2 trwały RaG 206 trwały ThD 208 trwały AcD 206 trwały RaD 210 16 l. ThB 212 10,6 g. AcB 210 36,1 m. RaB 214 26,8 m. | 83 Bi 209,0 trwały RaE 210 4,85 d. ThC 212 60,8 m. RaC 214 19,5 m. AcC 210 2,16 m. | 84 Po 210 136 d. RaA 218 3,05 m. ThA 216 0,14 s. AcA 216 1,510 s. AcC' 210 10 ⁻³ s. RaC' 214 10 ⁻⁸ s. ThC' 212 10 ⁻¹¹ s. RaF 210 136 d. | 86 RaEm 222 3,82 d. ThEm 220 54,5 s. AcEm 218 3,9 s. |
| | Grupa IIa | Grupa IIIa | Grupa IVa | Grupa Va | Grupa VIa | |
| Okres VII | 88 Ra 226 1630 l. MsTh ₁ 228 6,71 l. AcX 222 11,2 d. ThX 224 36,4 d. | 89 Ac 226 20 l. MsTh ₂ 228 5,95 g. | 90 Th 232,1 1,6.10 ¹⁰ l. Jo 230 10 ⁵ l. RdTh 228 1,9 l. UX ₁ 234 23,8 l. RdAc 226 18,9 d. UY 230 24,6 g. | 91 Pa 230 10 ⁴ l. UX ₂ 234 1,17 m. | 92 U _I 238 4,5.10 ⁹ l. U _{II} 234 10 ⁶ l. | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |



Mamy więc następujące plejady izotopów: w grupie VI układu perjodycznego: *uran* (238,2) oraz jego izotop *UII* (234); w gru-

pie V: *bizmut* (209) oraz jego izotopy radjoczyste: *RaC* (214), *ThC* (212), *RaE* (210) oraz *AcC* (210); w grupie IV: *tor* (232,1) oraz jego izotopy *UX₁* (234), *Jo* (230), *UY* (230), *RaTh* (228), *RaAc* (226), — a nadto ołów (*Pb* 207,2) oraz jego izotopy *RaB* (214), *ThB* (212), *RaD* (210), *AcB* (210), *ThD* (208), *AcD* (206) i *RaG* (206); w grupie III: *tal* (204) oraz jego izotopy *RaC''* (210), *ThC''* (208) i *AcC''* (206).

Plejady nowych izotopów promieniotwórczych są następujące: w grupie VI: *rad F* czyli polon (210) wraz z izotopami



Rys. 93.

Tablica Soddy'ego i Fajansa, uwidoczniająca kierunki przemian w szeregu uranowo-radowym.

RaA (218), *ThA* (216), *AcA* (216) i *ThC'* (212); w grupie V: *Eka-tantal* czyli protoaktyn (230) z izotopem *UX₂* (234); w grupie III: *aktyn* (226) z izotopem *MsTh₂* (228); w grupie II: *rad* (226) wraz z jego izotopami *MsTh₁* (228), *ThX* (224) i *AcX* (222); w grupie 0: *emanacja radowa* (radon) (222) oraz izotopy: *toron* (*EmTh*) (220) i *aktynon* (*EmAc*) (218).

Stosunki genetyczne poszczególnych pierwiastków promie-

TABLICA 53.
Zestawienie rodzin pierwiastków promieniotwórczych podług R. Swinnego.

| Rodzina uranu | | | | Rodzina aktynu | | | | Rodzina toru | | | |
|---------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------|----------------|---------------------|-----------------------|--------------------------|--------------|---------------------|-----------------------|--------------------------|
| Pierwiastek | Promienio- wanie | Okres półtr. | Grupa ukt. okresowego | Pierwiastek | Promienio- wanie | Okres półtr. | Grupa ukt. okresowego | Pierwiastek | Promienio- wanie | Okres półtr. | Grupa ukt. okresowego |
| Uran I | α | 5.10 ⁹ l. | VI | Uran Y | β | 25,5 g. | IV | Tor | α | 2.10 ¹⁰ l. | IV |
| Uran X ₁ | β | 23,8 d. | IV | Protaktyn | α | 10 ⁴ l. | V | Mezotor 1 | β | 6,7 l. | II |
| Uran X ₂ | β | 1,15 m. | V | Aktyn | β | 20 l. | III | Mezotor 2 | β | 6,2 g. | III |
| Uran II | α | 2.10 ⁶ l. | VI | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Jon | α | 10 ⁵ l. | IV | Radioaktyn | α | 18,9 d. | IV | Radjotor | α | 4,9 l. | IV |
| Rad | α | 1580 l. | II | Aktyn X | α | 11,2 d. | II | Tor X | α | 3,64 d. | II |
| Radon | α | 3,81 d. | VIII | Aktynon | α | 3,92 s. | VIII | Toron | α | 54,5 s. | VIII |
| Rad A | α | 3,05 m. | VI | Aktyn A | α | 2.10 ⁻³ s. | VI | Tor A | α | 0,14 s. | VI |
| Rad B | β | 26,8 m. | IV | Aktyn B | β | 36,1 m. | IV | Tor B | β | 10,6 g. | IV |
| Rad C | α, β | 19,5 m. | V | Aktyn C | α | 2,46 m. | V | Tor C | α, β | 60,8 m. | V |
| Rad C' | α | 10 ⁻⁷ sek. | VI | Aktyn C' | α | 5.10 ⁻³ s. | VI | Tor C' | α | 10 ⁻¹¹ s. | VI |
| Rad C'' | β | 1,38 m. | III | Aktyn C'' | β | 4,76 m. | III | Tor C'' | β | 3,20 m. | III |
| Rad D | β | 18 l. | IV | Aktyn D | — | ∞ | IV | Tor D | — | ∞ | IV |
| Rad E | β | 4,85 d. | V | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Rad F | α | 136 d. | VI | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Rad G | — | ∞ | IV | — | — | — | — | — | — | — | — |

niotwórczych oraz ich miejsca w układzie periodycznym pierwiastków chemicznych uwidocznią załączona tablica podana poraz pierwszy przez Soddy'ego w r. 1913, a następnie nieco przezeń zmodyfikowana (rys. 93). W tablicy tej kolumny pionowe odpowiadają grupom układu periodycznego, oznaczonym cyframi rzymskimi, szeregi poziome zaś — wartościom liczbowym ciężarów atomowych. Przemiany promieniotwórcze, połączone z emisją cząstek α , zostały oznaczone strzałkami ukośniami, skierowanymi na lewo, przemiany zaś promieniotwórcze, połączone z emisją cząstek β (elektronów) — strzałkami poziomymi, skierowanymi na prawo.

6. ENERGETYKA PRZEMIAN PROMIENIOTWÓRCZYCH.

Proces rozpadu atomów pierwiastków promieniotwórczych jest procesem wybitnie egzotermicznym, jak to już wiemy z pierwszych badań nad promieniotwórczością radu (str. 246). Piotr Curie pierwszy oznaczył w r. 1903 zapomocą bezpośrednich pomiarów kalorymetrycznych ilości ciepła, wydzielanego przez 1 g radu w ciągu godziny, na 100 kal. Późniejsze, dokładniejsze pomiary St. Meyera z Wiednia nad radem, będącym w równowadze z jego krótkotrwałymi produktami rozkładu, wykazały że w tych warunkach 1 g radu wydziela w ciągu godziny około 132 kal.

Ten efekt cieplny jest wywołany głównie przez pochłanianie promieni α , wysyłanych przez pierwiastki promieniotwórcze. Cząstki α są bowiem wyrzucane przez te pierwiastki z olbrzymimi szybkościami. Zatrzymane w swym pędzie przez pozostałą masę substancji promieniotwórczej oraz przez ścianki naczyń, zamieniają one całą energję kinetyczną na energję ruchów cząsteczkowych, objawiającą się pod postacią ciepła. Znając przeto liczbę n cząstek, wysyłanych w ciągu sekundy przez 1 gr pierwiastka, masę owych cząstek m , oraz ich szybkość v , możemy z tych danych wyliczyć zasób ich energji kinetycznej E :

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

W ten sposób otrzymano dla 1 gr radu $E = 1,38 \cdot 10^6$ ergów na sekundę, co odpowiada ilości ciepła 118 kal. na godzinę.

Według dokładniejszych pomiarów i obliczeń Złotowskiego

cały zasób energii, wydzielonej przez 1 gr radu, będący w równowadze z jego krótkotrwałymi produktami rozpadu, wynosi w sumie 139,6 kal. na godzinę i rozkłada się w sposób następujący na poszczególne pierwiastki oraz na emitowane przez nie promienie:

TABLICA 55.

Produkcja ciepła w kal. wywołana przez promieniowanie
1 g radu w ciągu godziny.

| | α | β | γ | Razem |
|-----------------|----------|---------|----------|-------|
| Rad | 24,7 | — | — | 24,7 |
| Emanacja radowa | 28,3 | — | — | 28,3 |
| Rad A | 31,0 | — | — | 31,0 |
| Rad B } | 39,6 | 6,1 | 9,1 | 54,8 |
| Rad C } | | | | |

Jak wynika z tych danych, ilość energii, wydzielana podczas przemian promieniotwórczych, jest naogół bardzo wielka. Ażeby zdać sobie sprawę z jej ogromu wystarczy przytoczyć, że 1 cm³ emanacji radowej, rozkładając się całkowicie na rad G (względnie na *RaPb*) wydzielilby w sumie około $2,8 \cdot 10^7$ kal. ciepła.

Jak wiadomo, jedną z najbardziej egzotermicznych reakcji chemicznych gazowych jest proces spalania wodoru na wodę. Całkowite spalanie 1 cm³ wodoru w tlenie daje jednak zaledwie około 3 kal. ciepła. Zatem 1 cm³ emanacji radowej wiązuje podczas swego rozkładu $\frac{2,8 \cdot 10^7}{3}$, czyli 9 milionów razy więcej ciepła, niż proces spalania tej samej objętości wodoru.

Wydzielanie zasobów energii, towarzyszące przemianom promieniotwórczym, jest przeto zupełnie innego rzędu, niż te ilości energii, które uwalniają się podczas zwykłych reakcji chemicznych. Fakt ten należy uważać za potwierdzenie teorii, doszukującej się w zjawiskach promieniotwórczości procesów, odbywających się wewnątrz atomów, czyli procesów innego rzędu, niż te, które odbywają się pomiędzy atomami.

7. ROZPOWSZECHNIENIE PIERWIASTKÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH W PRZYRODZIE.

Pomiary promieniotwórczości powietrza, wód źródłanych oraz różnych skał, tworzących skorupę ziemską, wykazały, że pierwiastki promieniotwórcze, uran i tor, zarówno jak i produkty ich rozkładu, rad i emanacja są naogół bardzo rozpowszechnione na powierzchni kuli ziemskiej, aczkolwiek występują przeważnie w ilościach bardzo małych, czasami nie dających się nawet stwierdzić zapomocą zwykłych metod analizy chemicznej.

Z badań, przeprowadzonych w laboratorium Rutherforda, wynika, że w 1 cm³ powietrza atmosferycznego znajduje się taka ilość emanacji, która odpowiada mniej więcej jednemu atomowi. Ilość emanacji, zawarta w niektórych wodach mineralnych, jest znacznie większa. Większą skuteczność leczniczą spożywania na miejscu wielu wód mineralnych (np. karlsbadzkich), lekarze przypisują tej okoliczności, że zawierają one emanację, która podczas przechowywania ulega rozpadowi.

Badania angielskiego fizyka R. Strutta nad zawartością radu w różnych minerałach skałotwórczych wykazały, że 1 gr skał pierwotnych, np. granitów, gnejsów, trachitów, porfirów i bazaltów, zawiera przeciętnie 10^{-12} gr radu oraz około 10^{-5} gr uranu i toru. Warstwy osadowe pochodzenia morskiego zawierają natomiast naogół tak małe ilości radu, że dają się one z trudnością wykryć nawet zapomocą bardzo czułych metod.

Stała obecność radu w skałach pierwotnych, z których składa się przeważna część skorupy ziemskiej, rzuca nowe światło na cały szereg zagadnień, mających pierwszorzędne znaczenie w kosmografii.

Nie wchodząc w szczegółowy rozbiór tych kwestyj, zaznaczę tylko, że fizycy obliczyli wiek kuli ziemskiej (od czasu wytworzenia się na jej powierzchni stałej powłoki) ze wzrostu temperatury, obserwowanego podczas posuwania się wgląd ziemi, który wynosi przeciętnie 37° na każde 1000 metrów. Na tej zasadzie lord Kelvin oszacował okres czasu, który upłynął od chwili wytworzenia się skorupy ziemskiej na mniej więcej 100 milionów lat.

Liczba ta nie zgadza się jednak nawet pod względem rzędu wielkości z temi wnioskami, które dają się wyprowadzić z danych czysto geologicznych.

Otóż obecność radu w wierzchnich warstwach skorupy ziemskiej nasuwa przypuszczenie o istnieniu nowego źródła wewnętrznego ciepła kuli ziemskiej. Z danych geofizycznych wiadomo bowiem, że każdy cm^2 zewnętrznej powłoki kuli ziemskiej traci wskutek promieniowania ciepła średnio $7 \cdot 10^{-15}$ kal na sekundę. A że 1 g radu wywiązuje na sekundę $3 \cdot 10^{-2}$ kal, przeto dla pokrycia tej straty $7 \cdot 10^{-15}$ kal ciepła, wystarczyłaby obecność $4 \cdot 10^{-14}$ g radu w każdym gramie masy ziemskiej. Jak już zaznaczyliśmy, badania Strutta wykazały, że minerały skałotwórcze zawierają przeciętnie nie $4 \cdot 10^{-14}$ lecz 10^{-12} g radu, czyli niemal 25 razy więcej. Obecność tej ilości radu w całej masie kuli ziemskiej wystarczałaby zatem nie tylko na pokrycie strat ciepła ziemi przez promieniowanie, ale musiałaby spowodować stałe jej ogrzewanie się. Sprzeczność tego rachunku z rzeczywistością tłumaczy się tem, że wnętrze skorupy ziemskiej zawiera nieporównanie mniej radu niż warstwa zewnętrzna. Znajduje to w pewnej mierze potwierdzenie w fakcie, że meteoryty są w bardzo małym stopniu radioaktywne.

Nauka o promieniotwórczości dostarcza również nowych danych i podstaw do obliczenia wieku pokładów geologicznych. Wiadomo bowiem, że szybkość przemiany pierwiastków promieniotwórczych jest niezależna od wszelkich czynników zewnętrznych. W przemianach tych mamy zatem nową niezależną miarę czasu, z pomocą której możemy z wielkiem prawdopodobieństwem szacować wiek niektórych, zwłaszcza najstarszych formacji geologicznych. Obliczenia te opierają się przeważnie na zawartości radu, helu oraz ołowiu w minerałach uranowych.

Z badań Rutherforda wynika, że 1 g radu wydziela na dobę okragło $0,4 \text{ mm}^3$ helu, co daje około $0,14 \text{ cm}^3$ w ciągu jednego roku. Jeśli przeto oznaczmy zawartość radu w 1 g danego minerału uranowego oraz ilość helu, jaki się w nim znajduje, to z danych tych możemy z łatwością obliczyć, ile lat musiało upłynąć, zanim taka ilość helu nagromadziła się w owym mineralu. Tak np. 1 g minerału, zwanego fergusonitem, zawiera około 7% uranu i wydziela podczas ogrzewania $1,80 \text{ cm}^3$ helu. Znajac stosunek uranu do radu, oblicza się stąd, że 1 g fergusonitu zawiera $0,65 \cdot 10^{-8}$ g radu, winienby zatem wytworzyć w ciągu roku 10^{-8} cm^3 helu. Przeto czas potrzebny do jego wytworzenia wynosiłby winien:

$$\frac{1,8}{10^{-8}} = 1,8 \cdot 10^8 \text{ lat}$$

czyli okragło 180 milionów lat.

Inny minerał, zwany torjanitem, zawiera 75% toru oraz 12% uranu i wydziela podczas prażenia 9 cm³ helu na 1 gram: zatem okres jego istnienia jest nieporównanie dłuższy i oblicza się w przybliżeniu na 250 milionów lat.

Ze stosunku ilościowego helu oraz ołowiu uranowego do uranu w minerałach skał pierwotnych różnych formacyj geologicznych fizycy oszacowali wiek tych warstw w sposób następujący:

TABLICA 56.

| | Ze stosunku | |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | He : U | Pb : U |
| Wiek warstw eoceniczych . . | 31.10 ⁶ lat | — |
| „ „ węglowych . . . | 1,46 „ „ | 340.10 ⁶ lat |
| „ „ dewońskich . . . | 1,45 „ „ | 370 „ „ |
| „ „ sylurskich . . . | 209 „ „ | 430 „ „ |
| „ „ archaicznych . . | 700 „ „ | 1500 „ „ |
| czyli w sumie . . . | 1236.10 ⁶ lat | 2640.10 ⁶ lat |

Jak wynika z tych danych, obliczenia te dają wielkości, znacznie różniące się między sobą, aczkolwiek zgodne co do rzędu wielkości. W każdym razie liczby te lepiej zgadzają się z danymi geologicznymi, aniżeli dawniejsze obliczenia wieku skorupy ziemskiej na zasadzie danych fizycznych.

VI. BUDOWA ATOMÓW.

1. REALNOŚĆ ATOMÓW.

A. Dane historyczne. Hipoteza o ziarnistej budowie materji sięga bardzo odległych czasów. Za twórców atomistyki uważani są powszechnie filozofowie starożytnej Grecji, Leukipp oraz Demokryt z Abdery, którzy żyli i nauczali przed 2300 laty. Atomistyka grecka była jednak raczej śmiałą fantastyczno-filozoficzną spekulacją, pozbawioną doświadczalnego uzasadnienia, niż teorią naukową.

Dopiero w początkach XIX stulecia atomistyka weszła z tego okresu fantazji spekulacyjnej w okres teorii naukowej. Od roku 1805, t. j. od chwili, gdy genialny umysł Johna Daltona użył pojęcia atomów do pogładowego wytłumaczenia prawa wielokrotności stosunków wagowych, w których pierwiastki łączą się ze sobą w związki chemiczne, atomistyka stała się podstawową hipotezą chemii, i, aczkolwiek w ciągu ubiegłego stulecia przechodziła różne koleje, chemicy nigdy nie przedstawiali myśleć atomistycznie¹⁾. Operując stale pojęciem atomów, oznaczali oni z możliwą dokładnością *względne* ciężary atomowe pierwiastków, badali sposoby wzajemnego grupowania atomów w cząsteczkach, — nie troszczyli się jednak ani o liczbę, ani o wymiary i ciężar *bezwzględny* tych hipotetycznych »niedziałek«. Znajomość tych wielkości nie wywoływała w nich szczególnego zainteresowania, chemikowi wystarcza bowiem w zupełności znajomość względnych ciężarów atomowych do oznaczenia względnej liczby atomów poszczególnych pierwiastków, wchodzących w skład cząsteczek danego związku.

Z chemii atomistyka została przeszczepiona na grunt fizyki, której dała ona podstawy kinetycznej teorii gazów, mechanicznej teorii ciepła i t. d. W przeciwieństwie do chemików fizycy zwrócili już oddawna baczną uwagę na podstawowe własności atomów, na ich liczbę i wymiary, masę i szybkość. Starali się oni dotrzeć do bezpośredniego poznania tych wielkości, odgrywających rolę zasadniczą w teorjach i wywodach kinetycznych i szukali ilościowych odpowiedzi na te pytania w różnych zjawiskach nieodwracalnych, jak np. w dyfuzji gazów, ich tarcie wewnętrznem, przewodnictwie cieplnem i t. p. Fizyk wiedeński Loschmidt określił pierwszy w r. 1865 rząd wielkości średnicy cząsteczek tlenu na $1,18 \cdot 10^{-7}$ cm, wychodząc z pomiarów współczynnika tarcia wewnętrznego gazów. Za jego przykładem poszli następnie inni fizycy, którzy z różnych własności gazów próbowali obliczyć wymiary cząsteczek oraz ich liczbę w jednostce objętości. Otrzymane przez nich wyniki liczbowe wahały się jednak w zbyt szerokich granicach, by można je było uważać za realny dowód istnienia atomów.

B. Stała Loschmidta. Oznaczenie ilości atomów, zawartych w jednostce masy jakiegokolwiek substancji, jest kwestją pierw-

¹⁾ por. tom I, str. 149 i dalsze.

szorzędnego znaczenia dla całej atomistyki. Ścisłe i jednoznaczne rozwiązanie tego zagadnienia można bowiem uważać za najbardziej przekonujący dowód słuszności hipotezy atomowej.

W tomie I niniejszego dzieła (na str. 169) opisaliśmy drogę »matematyczną«, jaką poraz pierwszy Loschmidt doszedł do obliczenia *ilości cząsteczek w 1 gramocząsteczce jakiegokolwiek substancji*, wychodząc z założeń kinetycznej teorii gazów. Metoda ta, oparta na założeniach hipotetycznych, nie mogła jednak dostarczyć dowodów przekonujących, a przede wszystkim danych dostatecznie ścisłych. Dowody te zdobyto dopiero w ostatnich czasach dzięki powstaniu nauki o stanie koloidalnym, rozwojowi teorii kwantów oraz odkryciu zjawisk promieniotwórczości. Dostarczyły ich przedewszystkiem dwie kategorie zjawisk całkiem odrębnych: z jednej strony zjawiska tłumne, statystyczne, z drugiej zaś strony zjawiska indywidualne, o charakterze mikroskopowym. Posiłkowano się w tym celu przeważnie metodami optycznymi oraz elektrycznymi.

We wszystkich tych badaniach chodziło o doświadczalne oznaczenie t. zw. stałej Loschmidta N , t. j. liczby atomów, zawartych w gramatomie danego pierwiastka, względnie liczby cząsteczek, zawartych w gramocząsteczce danej substancji.

Aby scharakteryzować stosowane w tym celu metody doświadczalne, opiszemy pokrótce najbardziej typowe, zaczerpnięte z dziedziny zjawisk koloidalnych, promieniotwórczych oraz elektronowych.

Omawiając stan koloidalny materji, wspomnieliśmy już o t. zw. ruchach Browna, wykonywanych przez zawiesiny mikroskopowych cząstek w cieczach. Ruchy te dają się najdogodniej obserwować, jeśli na szkiełku przedmiotowym umieścimy kropelkę zawiesiny gumiguty (żółtej farby akwarelowej) w wodzie i obejrzymy ją pod mikroskopem. Zobaczymy wtedy przy dostatecznem powiększeniu, że drobnutkie kuleczki gumiguty wykonują bezustannie ruchy nieregularne, niezależne od wpływów zewnętrznych. Ruchy te powstają wskutek uderzeń cząsteczek wody o kropelkę gumiguty i są bezpośrednią ilustracją ruchów cieplnych cząsteczek, wynikających z podstawowych założeń teorii kinetycznej gazów (t. I, str. 169). Perrin, Svedberg i inni badacze stwierdzili zapomocą ścisłych pomiarów zupełną zgodność tych ruchów z obliczeniami teoretycz-

nemi, opartemi na teorii kinetycznej gazów oraz na rachunku prawdopodobieństwa (por. tom I, str. 168).

Jeśli zawiesinę gumiguty pozostawimy w wysokim cylindrze w spokoju pod działaniem siły ciężkości, to kuleczki gumiguty, aczkolwiek cięższe od wody, nawet po upływie bardzo długiego czasu nie opadną wszystkie na dno naczynia, lecz utworzą w cieczy szereg warstw ciągłych, najgęstszych na dole, a coraz rzadszych ku górze (rysunek 94). Innymi słowy kuleczki gumiguty rozdzielą się pod wpływem siły ciężkości w całej masie cieczy, podobnie do cząsteczek powietrza w atmosferze ziemskiej, którego gęstość jest największa na poziomie morza i maleje stopniowo w miarę wznoszenia się ku górze. W obu wypadkach mamy do czynienia z podobnym zjawiskiem, mianowicie z działaniem siły ciężkości na kuleczki gumiguty, lub na drobiny powietrza, które wskutek bezustannych ruchów cząsteczkowych przeciwstawiają się temu działaniu. Ostateczny rozdział cząstek w przestrzeni jest wynikiem równowagi dynamicznej obu tych wpływów. Dlatego też do cząstek gumiguty można zastosować ten sam wzór matematyczny, którego używa się do barometrycznego mierzenia wysokości nad powierzchnią ziemi. Różnica jest tylko ilościowa: gęstość atmosfery zmniejsza się bowiem do połowy na wysokości 5600 m, w zawiesinie zaś kropelek gumiguty o średnicy 0,0009 mm stężenie ich zmniejsza się do połowy zaledwie na wysokości 0,003 mm.

⊗ Wzór »hypsometryczny«, podług którego obliczamy wysokość danego miejsca nad poziomem morza, posiada następującą postać:

$$RT \ln \frac{p_0}{p_1} = M \cdot g \cdot h.$$

We wzorze tym R oznacza stałą gazową ($8,31 \cdot 10^7$ jednostek bezwzględnych), T —temperaturę bezwzględną, p_0 i p_1 —ciśnienia powietrza na poziomie morza i na wysokości h , M —ciężar cząsteczkowy gazu (np. powietrza) i g —przyspieszenie ziemskie (980,6 dyn). Stosując to równanie do doświadczeń nad po-



Rys. 94.

Sedymencja
cząstek zawiesi-
ny mastyki we-
dług Perrina.

działem kuleczek gumiguty w cylindrze), który schematycznie został wyobrażony na rys. 94), zauważymy, że

$$\frac{p_0}{p_1} = \frac{n_0}{n_1},$$

jeżeli oznaczymy przez n^0 i n_1 ilości cząstek gumiguty w jednostce objętości na dole cylindra i na wysokości h . Dalej wiemy, że

$$M = N \cdot m,$$

gdzie m jest to masa pojedynczej cząstki (którą możemy obliczyć z promienia cząstki i z gęstości gumiguty) a N oznacza liczbę cząstek w jednej gramocząsteczce (czyli poszukiwaną »liczbę Loschmidta«). W ten sposób otrzymamy:

$$RT \ln \frac{n_0}{n_1} = N \cdot m \cdot g \cdot h.$$

Perrin znalazł liczby następujące: stosunek $\frac{n_0}{n_1}$ wynosił dla

wysokości $h = 1,1 \cdot 10^{-2}$ cm: $\frac{100}{12}$. Ciężar cząstki, obliczony z jej promienia, $mg = 7,22 \cdot 10^{-12}$ dyn. Po podstawieniu tych wielkości otrzymujemy:

$$N = \frac{\ln \frac{100}{12} \cdot 8,31 \cdot 10^7 \cdot 293}{7,22 \cdot 10^{-12} \cdot 1,1 \cdot 10^{-2}} = 0,65 \cdot 10^{24}. \quad \boxtimes$$

Znaczenie tej liczby zrozumiemy może lepiej, jeśli powiemy, że jedna kropelka wody zawiera tyle cząsteczek, ile kropelek wody znajduje się w całym morzu Śródziemnym.

Podobnie jak z ruchów Browna, można obliczyć stałą Loschmidta N z innych zjawisk tłumnych, np. z opalescencji gazów w pobliżu ich temperatury krytycznej, z błękitu nieba oraz z innych zjawisk. W ten sposób różni badacze otrzymali następujące wartości na N (tablica 54, str. 303).

Z zestawienia tego wyniku, że wartości te wahają się w bardzo wąskich granicach: od $0,6 \cdot 10^{24}$ do $0,6 \cdot 10^{24}$.

Pomiary zjawisk o charakterze tłumno-statystycznym nie pozwalają nam bezpośrednio dojrzeć i policzyć pojedynczych atomów i cząsteczek. Otrzymujemy z tych zjawisk tylko ogól-

TABLICA 57.

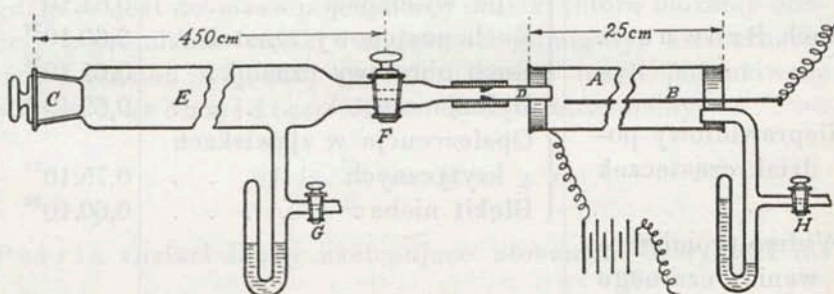
Zestawienie najważniejszych wyników oznaczeń
»liczby Loschmidta«.

| Zbadane zjawisko | Metoda badania | N |
|---|--|-----------------------|
| Tarcie wewnętrzne gazów | Równanie van der Waalsa | $0,62 \cdot 10^{24}$ |
| Ruch Browna | Podział cząsteczek zależnie od wysokości | $0,61 \cdot 10^{24}$ |
| | Ruch postępowy cząstek | $0,60 \cdot 10^{24}$ |
| | Ruch obrotowy cząstek | $0,65 \cdot 10^{24}$ |
| | Dyfuzja cząstek | $0,69 \cdot 10^{24}$ |
| Nieprawidłowy podział cząsteczek | Opalescencja w zjawiskach krytycznych | $0,75 \cdot 10^{24}$ |
| | Błękit nieba | $0,60 \cdot 10^{24}$ |
| Widmo promieniowania czarnego ciała | | $0,605 \cdot 10^{24}$ |
| Pojedynczy ładunek cząsteczki | | $0,606 \cdot 10^{24}$ |
| Promieniotwórczość | Wypromieniowany ładunek | $0,62 \cdot 10^{24}$ |
| | Ilość wydzielonego helu | $0,64 \cdot 10^{24}$ |
| | Szybkość rozpadu radu | $0,71 \cdot 10^{24}$ |
| | Energja rozpadu radu | $0,60 \cdot 10^{24}$ |
| Teorja budowy atomu | Struktura prążków widmowych | $0,608 \cdot 10^{24}$ |

na liczbę cząsteczek, zawartych w jednostce objętości, zapomocą obliczeń, opartych na pewnych założeniach.

Omówione poprzednio zjawiska promieniotwórczości dają nam natomiast możność bezpośredniego liczenia i obserwowania poszczególnych cząstek α ; ze zmierzonej zaś objętości otrzymanego helu możemy obliczyć wartość stałej Loschmidta. Słynne są pomiary Rutherforda, wykonane wspólnie z Geigerem i Roydsem (1908-1909), polegające na następującem doświadczeniu. Na końcu rury szklanej E (rys. 95), przeszło czterometrowej długości, umieszczono w C bardzo drobną ilość radu C . Rura E komunikuje się zapomocą małego

otwórka *D*, zamkniętego cieniutką blaszką mikową, z rurą miedzianą *A*, przez którą przechodzi izolowany drut metalowy *B*, połączony z elektrometrem. Zapomocą pompy usuwa się powietrze z obu rur *E* i *A* do ciśnienia kilku mm, rurę zaś *A* ładuje się do wysokiego potencjału przez połączenie jej z baterją akumulatorów. Po otwarciu kurka *F* można obserwować, że zwierciadelko elektrometru wychyla się co pewien czas o pewien kąt, który można zmierzyć na skali elektrometru. Każde takie wychylenie wywołane jest tem, że do rury *A* wpa-



Rys. 95.

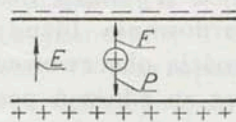
Przyrząd Rutherforda i Geigera używany do liczenia pojedynczych cząstek.

da pojedyncza cząstka α i jonizuje zawarty w niej gaz, wskutek czego pewien ładunek elektryczny dostaje się do elektrometru. Częstość wychyleń elektrometru zależy od ilości oraz mocy preparatu radowego, od długości rury *E* oraz od wielkości otworu w kurku *F*. Znając wszystkie te wielkości oraz liczbę wychyleń elektrometru na minutę, można z danych tych obliczyć, ile cząstek α wyrzuca 1 g radu *C* w przeciągu 1 minuty.

Oznaczenie liczby cząstek α , wyrzucanych przez preparat radowy, można wykonać również przez obserwację zapomocą lupy t. zw. scyntylacyj, wywoływanych przez cząstki α na ekranie z blendy Sidota (por. rys. 75 na str. 243). Rutherford i Royds obliczyli, że 1 g radu wysyła na sekundę $3,57 \cdot 10^{10}$ cząstek α . Zmierzyli oni nadto objętość zajęta przez wszystkie cząstki α . Z danych tych otrzymali oni na *N* wartość $= 6,15 \cdot 10^{23}$.

Najdokładniejszą wartość liczby Loschmidta otrzymał amerykańnik Millikan w r. 1909 z oznaczeń wielkości elementarnego kwantu elektryczności. Metoda jego polegała na tem,

że wytwarzał on w powietrzu zapomocą rozpylacza drobne kropelki oleju o średnicy rzędu 0,001 mm, które mogły bardzo długo pozostawać w zawieszeniu. Kropelki te pobierały z powietrza znajdujące się w nim jony (rys. 96). Taką kropelkę, naładowaną elektrycznością, Millikan wprowadzał naprzód pomiędzy płytki nie-naładowanego kondensatora i obserwował zapomocą lunetki szybkość jej opadania pod wpływem siły ciężenia w celu uzyskania danych, pozwalających na obliczenie średnicy kropelki. Następnie naładowywał kondensator do takiego potencjału, by kropelka pozostawała w zawieszeniu, albo poruszała się z pewną szybkością ku górze. Badania te Millikan prowadził w ciągu 8 lat, a jako ostateczny ich wynik otrzymał, że wielkość pojedynczego ładunku elektrycznego (czyli ładunek elektronu) wynosi:



Rys. 96.

Doświadczenie Millikana, mające na celu oznaczenie elementarnego ładunku elektrycznego.

$$e = 5,874 \cdot 10^{-10} \text{ jednostek elektrostatycznych}$$

(z dokładnością do 0,1%).

Wiadomo zaś z pomiarów elektrolizy wodnych roztworów elektrolitów, że jeden gramatom pierwiastka jednowartościowego przenosi podczas procesu elektrolizy ładunek elektryczności = 96 490 kulombom, czyli $= 96\,490 \times 3 \times 10^9 = 2,895 \cdot 10^{14}$ jednostkom elektrostatycznym. Zatem:

$$N \cdot e = 2,895 \cdot 10^{14} \text{ j. e. s.};$$

ponieważ zaś ładunek jednego elektronu, $e = 4,774 \cdot 10^{-10}$ jedn. elektrostat., przeto na N otrzymuje się:

$$N = \frac{2,895 \cdot 10^{14}}{4,774 \cdot 10^{-10}} = 6,062 \cdot 10^{23}.$$

Liczba ta jest bardzo zbliżona do tych, które otrzymali Westgren ($6,05 \cdot 10^{23}$) i Weiss ($6,03 \cdot 10^{23}$) z pomiarów ruchów Browna oraz Fowle ($6,05 \cdot 10^{23}$) z pomiarów błękitu nieba. Jest ona również bardzo bliska wartości, otrzymanej przez Rutherforda ($6,15 \cdot 10^{23}$).

Na podstawie tych danych możemy twierdzić, że liczbę Loschmidta znamy dziś z dokładnością do 1%, że więc

liczba atomów, zawartych w jednym gramatomie każdego pierwiastka, wynosi:

$$N = 6,06 \cdot 10^{23} \pm 0,06 \cdot 10^{23}$$

C. Wymiary atomów. Scyntylacje, wywoływane przez bombardowanie blendy Sidota promieniami α , dające się z łatwością obserwować zapomocą lupy w spintaryskopie, pochodzą ze zderzeń poszczególnych atomów helu z powierzchnią kryształów siarczku cynku. Każda cząstka α posiada, jak wiadomo, olbrzymią szybkość, wynoszącą około 20 000 kilometrów na sekundę, a jej energia kinetyczna równa się $1,3 \cdot 10^{-5}$ ergów, czyli jest przeszło 400 milionów razy większa od energii kinetycznej zwykłego atomu helu. To też, aczkolwiek ciężar pojedynczej cząstki α wynosi zaledwie $0,66 \cdot 10^{-23}$ g, to jednak uderzenie z tak wielką szybkością wywołuje widoczny efekt optyczny, przejawiający się jako błysk. Zapomocą promieni α zostały dzięki temu poraz pierwszy uwidocznione indywidualne skutki działań pojedynczych atomów.

Wymiary pojedynczych atomów są tak małe, że nie można ich obserwować bezpośrednio nawet zapomocą najdoskonalszych przyrządów optycznych. Średnica najmniejszych przedmiotów, widzialnych pod mikroskopem, wynosi bowiem $2 \cdot 10^{-5}$ cm. Zapomocą urządzeń ultramikroskopowych można uwidocznić obecność przedmiotów około 30 razy mniejszych, t. j. takich, których średnica wynosi $6 \cdot 10^{-7}$ cm. Jednakże i te wymiary są jeszcze przeszło 10 razy większe od wymiarów, które teoria kinetyczna gazów przypisuje poszczególnym cząsteczkom. Możemy dalej zapomocą promieni X, stosując płyty fotograficzne, rozszerzyć granice czułości metod optycznych tak dalece, że stają się widoczne plamy dyfrakcyjne, wywoływane przez poszczególne atomy. Według nowszych badań fizycznych promieniowanie X jest to zwykle promieniowanie świetlne o bardzo krótkich falach. Długość fali promieni X jest przeszło 10 000 razy mniejsza od długości fal światła widzialnego. W ten sposób rozróżniamy obecnie rozmaite rodzaje fal elektromagnetycznych, których charakterystyczną cechą jest częstotliwość drgań w ciągu sekundy oraz długość fali, wyrażona w centymetrach.

⊗ Znana dokładnie całkowita skala widma fal elektromagnetycznych rozpościera się od fal nadzwyczajnie krót-

kich, odpowiadających promieniowaniu »ultragamma«, aż do fal elektrycznych, odkrytych przez Hertza i stosowanych obecnie w radjotelegrafii. Cała ta skala obejmuje obszar długości fal od 10^{-13} do 3.10^6 cm, czyli od 10^{-6} $\mu\mu$ aż do 30 km. Gdybyśmy chcieli całkowitą długość widma przedstawić w postaci taśmy, w której część widzialna zajmowałaby 4 cm długości, wówczas całą tą taśmą moglibyśmy 75 razy opasać kulę ziemską. Tak wąska jest szczelina, przez którą podpatrujemy otaczający nas świat. Jak potężne muszą być wobec tych rozmiarów środki techniczne, stosowane przez naukę doświadczalną do poznania całości wszechświata. ☒

☒ Chcąc przedstawić na rysunku cały obszar widma fal elektromagnetycznych, stosujemy skalę logarytmiczną, t. j. oznaczamy zamiast długości fali *logarytmy* odpowiednich liczb, jak to uwidoczniono na rys. 97, zapożyczonym z dzieła Szczeniowskiego i Ziemeckiego¹⁾. W niżej zamieszczonej tabelicy podane są długości fali głównych rodzajów promieniowań w cm oraz w jednostkach świetlnych, zw. Ångströmami ($1 \text{ Å} = 10^{-8} \text{ cm}$), i częstości drgań ($\nu = \frac{3.10^{10}}{\lambda}$). ☒

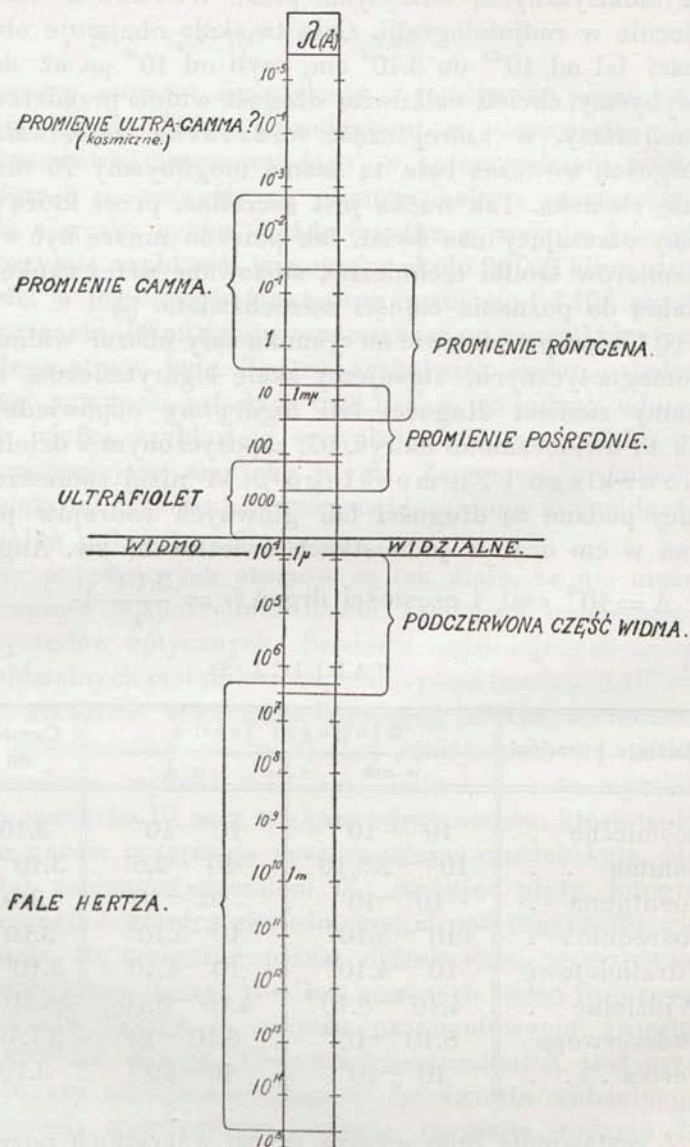
☒

TABLICA 58.

| Rodzaje promieni | Długości fali: λ | | Częstości drgań na sek: ν |
|------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| | w cm | w Å | |
| Kosmiczne . | 10^{-13} — 10^{-11} | 10^{-5} — 10^{-3} | 3.10^{23} — 3.10^{21} |
| Gamma . . | 10^{-11} — $2.5.10^{-8}$ | 10^{-3} —2,5 | 3.10^{21} — $1.2.10^{14}$ |
| Roentgena . | 10^{-9} — 10^{-7} | 10^{-1} —10 | 3.10^{19} — 10^{17} |
| Pośrednie . . | 10^{-7} — 5.10^{-6} | 10 — 5.10^2 | 3.10^{17} — 6.10^{15} |
| Ultrafioletowe | 10^{-6} — 4.10^{-5} | 10^2 — 4.10^3 | 3.10^{16} — $7.5.10^{14}$ |
| Widzialne . | 4.10^{-5} — 8.10^{-5} | 4.10^3 — 8.10^3 | $7.5.10^{14}$ — $3.7.10^{14}$ |
| Podczerwone | 8.10^{-5} — 10^{-2} | 8.10^3 — 10^6 | $3.7.10^{14}$ — 3.10^{12} |
| Hertza . . . | 10^{-2} — 10^6 | 10^6 — 10^{14} | 3.10^{12} — 3.10^4 ☒ |

Z zestawienia tego wynika, że ze wszystkich poznanych rodzajów promieniowania najkrótsze fale posiadają promienie X oraz promienie γ . Chcąc więc obserwować zjawiska ich dyfrakcji,

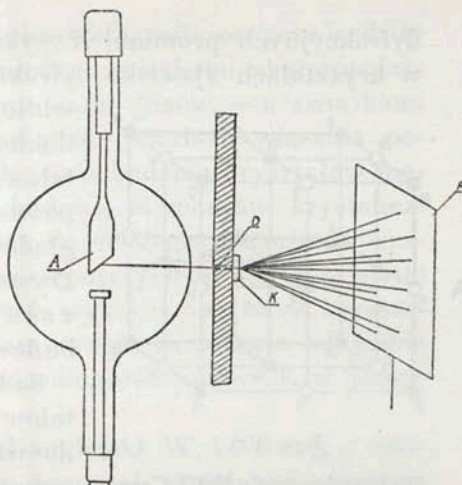
¹⁾ S. Szczeniowski i S. Ziemecki. Promieniowanie i materja. Warszawa, 1932; por. F. Holweck, De la lumière aux rayons X.



Rys. 97.

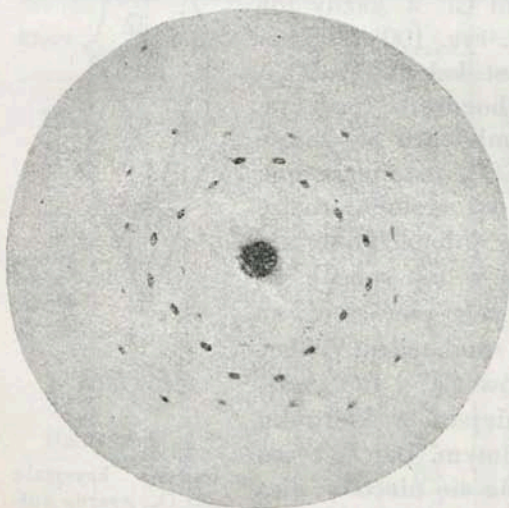
Całkowite widmo fal elektromagnetycznych w skali logarytmicznej według Szczeniowskiego i Ziemeckiego.

czyli uginania się, trzeba zastosować siatki dyfrakcyjne przeszło 1000 razy gęstsze od najdelikatniejszych siatek, jakie dają się otrzymać sposobami mechanicznymi. Otóż fizyk niemiecki von Laue wyraził w r. 1912 przypuszczenie, że takie niesłychanie subtelne przestrzenne siatki dyfrakcyjne możemy znaleźć w zwykłych kryształach substancyj stałych, zawierających prawidłowe ugrupowania cząsteczek. Słuszność tego przypuszczenia potwierdzili Friedrich i Knipping zapomocą doświadczenia, które ilustruje rys. 98. Promienie Roentgena wychodzą z antykatory A, przechodzą



Rys. 98.

Przyrząd Friedricha i Knippinga do stwierdzenia ugięcia promieni Roentgena przez siatkę w kryształe (według Szczeniowskiego i Ziemckiego).



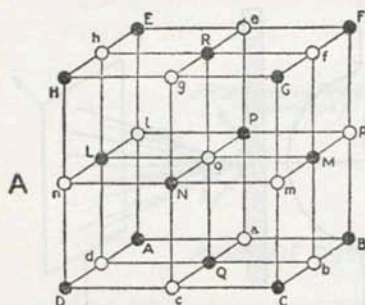
Rys. 99.

Figura dyfrakcyjna, otrzymana przy przechodzeniu promieni X przez kryształ blendy cynkowej wzdłuż poczwórnej osi symetrii.

przez mały okrągły otwór w diafragmie D i padają na kryształ K. Wiązki promieni, ugięte w kryształe, padają następnie na kliszę fotograficzną. Na rys. 99 pokazane jest zdjęcie, otrzymane podczas ugięcia promieni roentgenowskich przez blendę cynkową: środkowa plama odpowiada wiązce promieni centralnych, mniejsze plamki, ułożone symetrycznie naokoło plamy środkowej, wywołane są przez wiązki promieni ugiętych.

Dokładna analiza matematyczna pierścieni

dyfrakcyjnych promieni X wykazała, że ośrodki, wywołujące w kryształach zjawisko dyfrakcji, znajdują się w węzłach prawidłowej siatki przestrzennej, która dokładnie odpowiada budowie kryształów. W ten sposób została bezpośrednio stwierdzona słuszność poglądów teoretycznych znakomitych krytalografów francuskich Bravais'a i Mallarda o siatkowej budowie ośrodków krystalicznych.



Rys. 100.

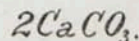
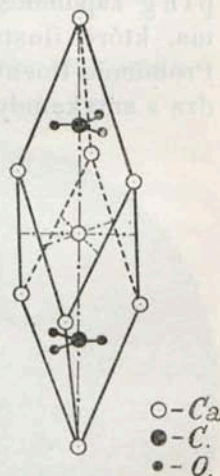
Budowa kryształu NaCl. Czarne kółka: E, F, G, H i t. oznaczają aniony, białe zaś kółka: e, f, g, h i t. d. — katjony.

kryształów chlorku sodu są prawidłowymi sześciannami. Naroża każdego sześciannu są zajęte naprzemiennie przez jony chloru i sodu. W ten sposób każdy jon sodu jest bezpośrednio otoczony 6 jonami Cl⁻ a każdy jon chloru 6 jonami Na⁺ (por. rys. 100).

Podobnie zbudowany jest kalcyt (CaCO_3), którego siatka jest romboedrem (por. rys. 101). Naroża i środek romboedru są zajęte przez jony Ca^{2+} . Aniony CO_3^{2-} rozmieszczone są symetrycznie wzdłuż osi elementarnego romboedru. Atomy tlenu w anionach otaczają pierścieniowo atom węgla w ten sposób, że płaszczyzny wszystkich tych pierścieni są prostopadłe do przekątnej romboedru. Wobec takiego ugrupowania jonów Ca^{2+} i CO_3^{2-} zajmują one nieco więcej miejsca w kierunku pionowym aniżeli w poziomym. Dzięki temu pierwotny sześciann wydłuża się nieco w kierunku pionowym i staje się romboedrem.

W kryształach związków organicznych, nie ulegających dysocjacji elektrolitycznej, w węzłach siatki krystalograficznej znajdują się nie

Badania roentgenograficzne kryształów doprowadziły między innymi do wniosku, że węzły siatki przestrzennej w kryształach rozmaitych soli nie są zajęte przez cząsteczki, lecz przez poszczególne jony tych związków. Np. elementy przestrzenne



Rys. 101.

Budowa kryształu CaCO_3 : czarne kółka większe oznaczają atomy C, czarne kółka mniejsze — atomy O, białe kółka — katjony Ca^{2+} .

jony, lecz cząsteczki. Te dane krystalograficzne potwierdziły istnienie zasadniczej różnicy między związkami »heteropolar-nemi«, będącemi luźnemi połączeniami jonów, — a związkami »homopolar-nemi«, wytworzonymi przez trwalsze wiązania pomiędzy atomami. Roentgenoskopowe badania kryształów nie tylko wyświetliły symetrię i budowę elementów krystalicznych, lecz doprowadziły również do ścisłego oznaczenia wzajemnych odległości atomów, występujących w węzłach siatki krystalograficznej. W ten sposób wykryto np., że w kryształach diamentu poszczególne atomy węgla są odległe od siebie o 10^{-8} cm, w chlorku sodu zaś odległość jonów Cl' od jonów Na' wynosi $2,8 \cdot 10^{-8}$ cm.

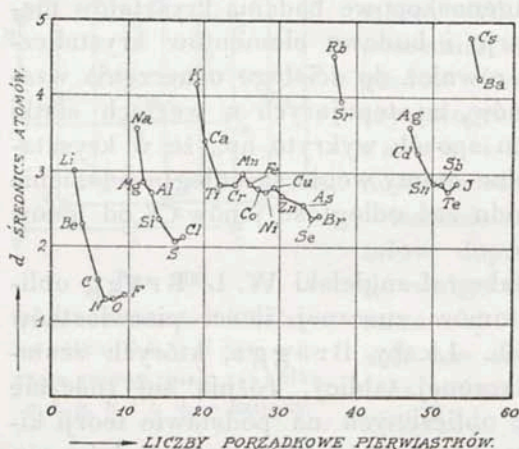
Z tych pomiarów krystalograf angielski W. L. Bragg obliczył wartości średnie atomów znacznej ilości pierwiastków chemicznych (por. tabl. 59). Liczby Bragga, których zestawienia podajemy w załączonej tablicy, różnią się znacznie od dawniejszych danych, obliczonych na podstawie teorii kinetycznej gazów. Jest bardzo prawdopodobne, że podają one

TABLICA 59.
Średnice atomów w centymetrach.

| Pierw. | Nr. porząd. | D. 10^8 cm. | Pierw. | Nr. porząd. | D. 10^8 cm. | Pierw. | Nr. porząd. | D. 10^8 cm. |
|--------|-------------|---------------|--------|-------------|---------------|--------|-------------|---------------|
| Li | 3 | 3,00 | C | 6 | 1,54 | F | 9 | 1,35 |
| Na | 11 | 3,55 | Si | 14 | 2,35 | Cl | 17 | 2,10 |
| K | 19 | 4,15 | Ti | 22 | 2,80 | Br | 35 | 2,38 |
| Rb | 37 | 4,50 | Ge | 32 | — | J | 53 | 2,80 |
| Cs | 55 | 4,75 | Sn | 50 | 2,80 | Cr | 24 | 2,80 |
| Be | 4 | 2,30 | Pb | 82 | 3,80 | Mn | 25 | 2,95 |
| Mg | 12 | 2,85 | N | 7 | 1,30 | Fe | 26 | 2,80 |
| Ca | 20 | 3,40 | P | 15 | — | Co | 27 | 2,75 |
| Sr | 38 | 3,90 | As | 33 | 2,52 | Ni | 28 | 2,70 |
| Ba | 56 | 4,20 | Sb | 51 | 2,80 | Ne | 10 | 1,30 |
| B | 5 | — | Bi | 83 | 2,96 | Ar | 18 | 2,05 |
| Al | 13 | 2,70 | O | 8 | 1,30 | Kr | 36 | 2,35 |
| Sc | 21 | — | S | 16 | 2,05 | X | 54 | 2,70 |
| Y | 39 | — | Se | 34 | 2,35 | | | |
| | | | Te | 52 | 2,65 | | | |

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,