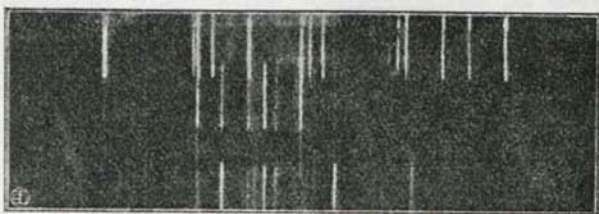


bach energii kryje się przyczyna trwałości atomów, które tylko w wyjątkowych wypadkach ulegać mogą rozpadowi. ☒

☒ *J. Dalsze losy radonu.* Przekonaliśmy się, że radon jest pierwiastkiem bardzo krótkowiecznym, jego okres półtrwania wynosi bowiem zaledwie 3,83 dni. Cóż więc staje się z radonem po jego śmierci? Jednym produktem rozpadu radonu są cząstki α , które

po stracie szybkości i ładunków elektrycznych zamieniają się w atomy helu. Ale ciężar atomowy cząstek α wynosi zaledwie 4 jednostki. Oprócz nich musi więc powstawać



Rys. 89.

Zamiana widma emanacji na widmo helu według Soddy'ego.

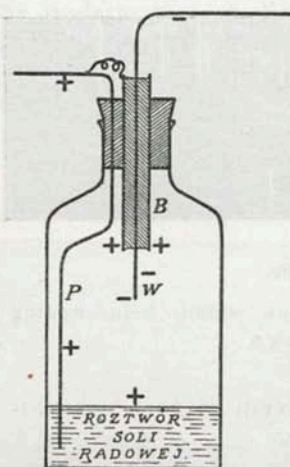
drugi produkt rozkładu o znacznie większym ciężarze atomowym. Jemu poświęcimy tu kilka słów. ☒

☒ Na str. 262 wspomnieliśmy już o tem, że wszystkie ciała stałe, znajdujące się w pobliżu radu, zostają przezeń »aktywowane«, i że aktywacja ich odbywa się wskutek działania emanacji. Rozwijając dalej swą tezę, że promieniotwórczość jest własnością *materji*, Rutherford przypuścił, że »promieniotwórczość wywołana« na powierzchni ciał pod wpływem emanacji radu, pochodzi stąd, że powierzchnia ta pokrywa się cienką powłoką »osadu promieniotwórczego«, będącego produktem rozkładu emanacji. ☒

☒ Można »skoncentrować« nieco większe ilości »osadu promieniotwórczego« w prostym przyrządzie, podanym na rys. 90. Przyrząd ten składa się z butelki, zawierającej roztwór soli radowej. Do wnętrza wprowadzono dwa izolowane druty *P* i *W*. Drut *P*, zanurzony w roztworze, posiada ładunek dodatni, drut *W* zaś naładowany jest ujemnie przez połączenie z baterją elektryczną o napięciu około 300 volt. Podczas rozpadu atomów radonu powstają cząstki α , wyrzucane z szybkością około 20 000 km na sek. Pozostałe »odłamki atomów« radonu odskakują w odwrotnym kierunku z szybkością:

$$v_2 = v_1 \frac{m_1}{m_2},$$

gdzie m_1 i m_2 oznaczają masy cząstek α , względnie »resztek atomu«, v_1 oznacza zaś szybkość cząstek α (podobnie działa wskutek wystrzału otrzymuje impuls w kierunku odwrotnym do kierunku ruchu naboju). Otóż te resztki atomów, początkowo naładowane ujemnie (wskutek odszczepienia dodatnich cząstek α), tracą wskutek zderzeń z cząsteczkami po-



Rys. 90.

Zbieranie osadu promieniotwórczego na ujemnie naładowanym drucie platynowym.

wietrza po kilka elektronów i zyskują nadmiar ładunku dodatniego. Wskutek tego ulegają one przyciąganiu przez ujemny drut W , podczas kiedy cząstki α , posiadające znaczny zasób energii, pozostają w atmosferze. ☒

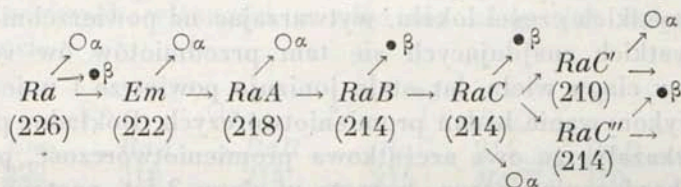
☒ Jeżeli drut W , aktywowany w powyższy sposób, zanurzyć w stężonym kwasie solnym, drut straci swą aktywność, ponieważ »osad promieniotwórczy« rozpuszcza się w kwasie. Można łatwo tego dowiedzieć, wyparowując kwas solny w małej parownicze platynowej: osad zbiera się wówczas na dnie i udziela parownicze własności promieniotwórczych. Przez wyprażenie parowniczki można całkowicie usunąć ów osad, który ulatnia się w temperaturze czerwonego żaru. Że stanowi on tylko cienką powłokę na powierzchni metalu,

o tem można się przekonać, wycierając parowniczkę skórka zamszową: parowniczka traci wówczas własności promieniotwórcze, natomiast zyskuje je skórka zamszowa. ☒

☒ *K. Spadek promieniotwórczości »aktywnego osadu«.* Promieniotwórczość »aktywnego osadu radowego« ulega stopniowemu zmniejszeniu, podobnie jak promieniotwórczość radonu. Przebieg tego procesu jest jednak w tym przypadku bardziej złożony. Przebieg krzywych spadku promieniotwórczości zależy przede wszystkim od tego, czy drut platynowy, poddany działaniu emanacji, był »eksponowany« przez długi czy przez krótki okres czasu. W pierwszym przypadku promieniotwórczość, mierzona przez natężenie promieni α , spada początkowo bardzo szybko (z okresem półtrwania około 3 minut), później zaś wolno (z okresem półtrwania 26,8 min.). Jeżeli natomiast

czas ekspozycji drutu platynowego wynosił tylko kilka minut, wówczas spadek promieniotwórczości posiada zupełnie inny charakter: początkowo obserwujemy bardzo nagły spadek, odpowiadający poprzednio podanej przemianie, — później zaś zauważyć się daje przez pewien czas stała promieniotwórczość, która później dopiero stale spada. Rutherford dał następujące objaśnienie tych złożonych zjawisk. Przypuścił on, że w tym przypadku radon ulega kilku następującym po sobie przemianom promieniotwórczym. Stwierdził on, że wyżej podany przebieg spadku aktywności osadu promieniotwórczego wyrazić się daje zapomocą sumy trzech następujących po sobie przemian, z których każda stosuje się ściśle do ogólnego prawa rozpadu. Badanie tych złożonych przemian upraszcza w znacznym stopniu ta okoliczność, że podczas pierwszej przemiany wysyłane zostają wyłącznie promienie α , podczas drugiej przemiany wyłącznie promienie β , podczas trzeciej zaś znów promienie α . ☒

☒ W ten sposób otrzymujemy szereg reakcyj następujących:



Produkty rozpadu radonu otrzymały nazwy: RaA , RaB i RaC . Różnią się one od siebie nie tylko rodzajem promieniowania, lecz przede wszystkim okresami życia. Okres półtrwania RaA wynosi tylko 3,05 min, okres półtrwania RaB jest najdłuższy: 26,8 min, okres półtrwania RaC wynosi 19,5 min. Fizyczne własności tych efemerycznych pierwiastków są bardzo trudne do zbadania ze względu na ich nietrwałość. Wiadomo jednak, że różnią się one od siebie lotnością: RaA ulatnia się w temperaturach od 800° do 900° , RaB — od 600° do 700° , a RaC — od 800° do 1300° . ☒

☒ RaC różni się od swych poprzedników tem, że wysyła zarówno promienie α , jak i promienie β . Fajans potrafił dowiedzieć, że te dwa rodzaje promieni odpowiadają dwóm przemianom RaC , które odbywają się jednocześnie, jakkolwiek z niejednakową szybkością; podczas przemiany α , któ-

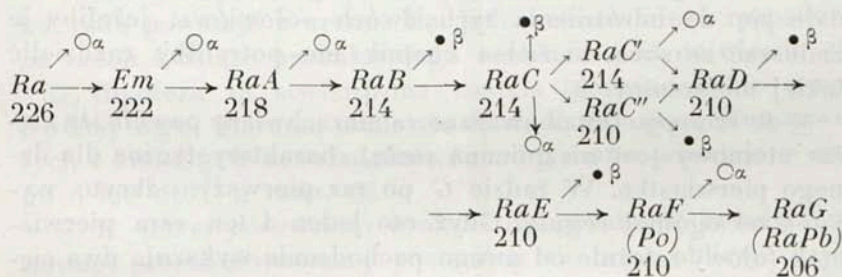
rej ulega zaledwie 0,03% rozpadających się atomów RaC , powstaje produkt, zwany RaC'' , okres półtrwania którego wynosi 1,38 min. Promieniomaniu β zaś odpowiada przemiana, której ulega 99,97% ogólnej ilości rozpadających się atomów RaC . Podczas tej przemiany powstaje krótkowieczny pierwiastek RaC' o okresie półtrwania, wynoszącym zaledwie 10^{-7} sek, wypromieniowujący cząstki α , podczas kiedy RaC'' wysyła cząstki β . Ponieważ wszystkie te produkty ulegają bardzo szybkim przemianom, przeto w zwykłych warunkach powstaje mieszanina pierwiastków, znajdujących się w »równowadze promieniotwórczej« (por. str. 266). ☒

☒ *L. Długowieczny osad promieniotwórczy.* Na tem nie kończy się jednak proces rozpadu radu: p. Curie-Skłodowska dowiodła, że promieniotwórczość osadu, powstałego przez rozkład emanacji, trwa wiele lat, jakkolwiek spada do miljonowej części tej wartości, jaką posiada emanacja. Wskutek powstawania tego nadzwyczaj długowiecznego osadu lokale, w których odbywane bywają doświadczenia z emanacją w otwartych naczyniach, ulegają »infekcji«: emanacja przenika bowiem do wszystkich części lokalu, wytwarzając na powierzchni ścian i wszystkich znajdujących się tam przedmiotów ów »osad«, który w ciągu wielu lat stale jonizuje powietrze i uniemożliwia wykonywanie badań promieniotwórczych. Dokładne pomiary wykazały, że owa szczątkowa promieniotwórczość, początkowo bardzo nieznaczna, wzrasta w ciągu 3 lat, następnie zaś trwa dziesiątki lat. To niesłychanie powolne zmniejszanie się promieniotwórczości odbywa się, podobnie jak i poprzednie przemiany, w kilku reakcjach następczych. Pierwszym produktem rozpadu RaC' jest RaD , wysyłający promienie β i posiadający okres półtrwania 16 lat. Wskutek tej długowieczności RaD gromadzi się w większych ilościach w minerałach, zawierających rad, i może być nawet z nich wydzielony. Badanie RaD wykazało, że pierwiastek ten jest bardzo podobny do *ołowiu*. Siarkowodór osadza go z roztworów jego soli w postaci siarczku: $(RaD)S$; tworzy on natlenek $(RaD)O_2$ i wogóle zachowuje się tak, jak ołów. Jest on najtrwalszym ze wszystkich produktów rozpadu radu. ☒

☒ RaE , powstający z radu D , posiada okres półtrwania krótszy, bo tylko 4,85 dni, wysyła w słabym stopniu promienie β i γ , ulegając przemianie na RaF . Pod względem własności chemicznych podobny on jest do bizmutu. ☒

⊗ *M. Rad F.* W produkcie rozpadu *RaE* poznajemy znany pierwiastek: ten sam, który został odkryty przez p. Curie-Skłodowską na samym początku jej badań, mianowicie: *polon*. W istocie Rutherford potrafił dowieść, że *RaF* i polon posiadają jednakowy okres półtrwania, wynoszący 136 dni, co jest niezbitym dowodem tożsamości obu pierwiastków. Oprócz tego oba te pierwiastki wysyłają promienie α o jednakowym zasięgu: 3,83 cm w 15° . Wobec tego nie ulega wątpliwości, że *RaF* jest polonem. Jest to pierwiastek metaliczny, bardzo podobny pod względem charakteru chemicznego do teluru. Łatwo wydziela się z roztworu na katodzie podczas elektrolizy i zostaje wytrącany z roztworu na powierzchni zanurzonej w nim pałeczki bizmutowej. W ten sposób daje się on z łatwością koncentrować. ⊗

⊗ *N. Ciężary atomowe pierwiastków promieniotwórczych.* Na podstawie wyżej omówionych badań otrzymujemy »szereg rozpadu pierwiastków promieniotwórczych«, rozpoczynający się od *radu* i kończący się na *RaG*, który nie posiada już promieniotwórczych własności, a więc nie ulega już dalszemu rozpadowi:



O bezpośrednim oznaczeniu ciężarów atomowych tych nietrwałych pierwiastków nie może być oczywiście mowy. Można jednak obliczyć te wielkości zasadnicze na podstawie założenia, że ciężar atomowy pierwiastka, powstającego podczas promieniowania α , powinien być o 4 jednostki mniejszy od ciężaru atomowego poprzednika, ciężar atomowy zaś pierwiastka, zawdzięczającego swe powstanie promieniowaniu β , nie powinien się wiele różnić od ciężaru atomowego poprzednika (ponieważ cząstka β posiada zaledwie $\frac{1}{1840}$ masy atomowego wodoru). W ten sposób zostały obliczone liczby, podane

w powyższym szeregu. Z szeregu tego wynika, że polon powstaje z radu na skutek straty 4 cząstek α . Ciężar atomowy polonu powinien więc być o 16 jednostek mniejszy od ciężaru atomowego radu, t. j. winien wynosić 210. Ponieważ *RaG* powstaje z polonu na skutek straty jednej cząstki α , więc ciężar atomowy *RaG* powinien wynosić 206. Liczba ta jest bliska ciężaru atomowego ołowiu (207,1). Różnica jest niewielka, i początkowo nie przypisywano jej wielkiej wagi. ☒

☒ *O. Rad G, czyli ołów radowy.* W istocie analizy minerałów promieniotwórczych wykazują, że radowi towarzyszy zawsze ołów. Hoenigschmid i Horowitz oznaczyli dokładnie w r. 1914 ciężar atomowy ołowiu, wydzielonego z rudy smolistej promieniotwórczej: znaleźli oni liczbę: 206,05, zupełnie zgodną z wynikiem podanego wyżej rachunku. Poza tem jednak okazało się, że ołów, pochodzący z minerałów promieniotwórczych, posiada te same własności fizyczne i chemiczne, co ołów »zwykły« (np. z błyszczu ołowianego). Nie tylko reakcje chemiczne obu tych rodzajów ołowiu są jednakowe, ale nawet rozpuszczalność ich soli jest ściśle ta sama. Wskutek tego żadna ze znanych metod *chemicznych* nie nadaje się do odróżnienia tych dwóch »ołówów«; jeżeliby je zmieszać ze sobą, to żaden chemik nie potrafiłby rozdzielić takiej mieszaniny. ☒

☒ *P. Izotopy.* Dotąd uważano za niezachwiany pewnik, że ciężar atomowy jest niezmienną *stałą*, charakterystyczną dla danego pierwiastka. W radzie *G* po raz pierwszy odkryto wyjątek od ogólnej reguły. Gdyż oto jeden i ten sam pierwiastek (ołów) zależnie od swego pochodzenia wykazuje dwa ciężary atomowe, różniące się od siebie o jedność. Soddy zaproponował, aby tego rodzaju pierwiastki, a raczej odmiany jednego pierwiastka, które różnią się tylko ciężarami atomowymi, wobec zupełnej tożsamości innych własności — pierwiastki, których zatem nie można rozdzielić zwykłymi metodami chemicznymi, — nazywać »izotopami«. Nazwa ta została ogólnie przyjęta, i już wkrótce okazało się, że zjawisko »izotopji« jest daleko bardziej rozpowszechnione w przyrodzie, niż dotąd podejrzewano. Powrócimy jeszcze do tej sprawy w następnym rozdziale. ☒

☒ *Q. Pochodzenie radu.* Rad ulega niezmiernie powolnemu rozpadowi. Widzieliśmy bowiem, że z 1 g. radu w ciągu roku

rozpada się zaledwie $\frac{1}{2500}$ g. Ponieważ jednak okres istnienia

ziemi liczy wiele miliardów lat, przeto istniejące niegdyś zapasy radu musiałyby się już dawno wyczerpać, — gdyby nie powstawały one wciąż z innego pierwiastka promieniotwórczego, ulegającego znacznie powolniejszemu rozpadowi. ☒

☒ W istocie badania geologiczne wykazały, że rad występuje zawsze w przyrodzie w towarzystwie *uranu*. Co więcej, analizy ilościowe dowiodły, że stosunek uranu do radu jest przeważnie stały: $\frac{U}{Ra} = 2,928.10^6$ (podług danych Jannascha

i Beckera). Stąd należy wnioskować, że rad znajduje się w podobnym stosunku genetycznym do uranu, jak radon (emancja) względem radu. W tym wypadku stwierdziliśmy bowiem, że pierwiastek pierwotny i produkt jego rozpadu znajdują się w »równowadze promieniotwórczej«, wynikającej z tej okoliczności, że w jednostce czasu powstaje ta sama ilość produktu rozpadu, ile go jednocześnie znika wskutek dalszej przemiany (str. 265). Stosując to samo rozumowanie do uranu (jako pierwiastka pierwotnego) i do radu (jako produktu rozpadu uranu), możemy założyć, że w ciągu pewnego okresu czasu tyleż radu powstaje z uranu, ile jednocześnie ulega rozpadowi na radon i dalsze produkty jego rozkładu — aż do ołowiu. ☒

☒ Hipoteza ta stwierdzona została doświadczalnie przez Soddy'ego, któremu udało się dowieść zapomocą długotrwałych i żmudnych doświadczeń, że z 1 g uranu powstaje w ciągu 6 lat 4.10^{-14} g radu. ☒

☒ *R. Okres półtrwania uranu.* Na podstawie zasady równowagi promieniotwórczej postaramy się teraz obliczyć szybkość rozpadu uranu i jego »okres półtrwania« (por. str. 269). Przypuśćmy, że dany minerał promieniotwórczy zawiera N_1 atomów uranu i N_2 atomów radu. Jeżeli stałą rozpadu uranu oznaczmy przez λ_1 , to w ciągu 1 sek ulega rozpadowi ilość atomów uranu:

$$Z_1 = \lambda_1 \cdot N_1.$$

Zakładając, że z 1-go atomu uranu powstaje 1 atom radu, dojdziemy do wniosku, że jednocześnie powstaje taka sama ilość atomów radu. W tym samym czasie jednak rad ulega dalszemu rozpadowi. Oznaczając stałą szybkości rozpadu radu przez λ_2 , otrzymamy ilość atomów radu Z_2 , ulegającą rozpadowi w ciągu sekundy:

$$Z_2 = \lambda_2 \cdot N_2.$$

Na podstawie prawa »równowagi promieniotwórczej« ilość powstających atomów radu powinna równać się ilości rozpadających się atomów tego pierwiastka:

$$Z_1 = Z_2 \text{ czyli } \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{N_1}{N_2}.$$

Z poprzednich danych wiemy, że:

$$\lambda_2 = 1,268 \cdot 10^{-11} \text{ (str. 271).}$$

Analizy zaś dały nam stosunek

$$\frac{N_1}{N_2} = 2,928 \cdot 10^6$$

Stąd stała szybkości rozpadu uranu:

$$\lambda_1 = \frac{1,268 \cdot 10^{-11}}{2,928 \cdot 10^6} = 4,53 \cdot 10^{-18} \text{ sek}^{-1},$$

średni zaś okres trwania uranu wynosić powinien

$$\tau = \frac{1}{\lambda_1} = \frac{1}{4,53 \cdot 10^{-18} \text{ sek}} = 7 \cdot 10^9 \text{ lat.}$$

Okres półtrwania obliczamy na tej samej podstawie:

$$T = 5 \cdot 10^9 \text{ lat.}$$

Są to oczywiście okresy, znacznie przewyższające okres istnienia naszego globu. ☒

4. SZEREGI PROMIENIOTWÓRCZE.

☒ *A. Szereg uranowy.* Przypomnijmy sobie, że uran był pierwszym pierwiastkiem, na którym Henryk Becquerel odkrył zjawiska promieniotwórcze (str. 237). W poprzednim rozdziale zaś przekonaliśmy się, że uran jest »praojcem« radu. Postaramy się obecnie wyprowadzić »drzewo genealogiczne« uranu. ☒

☒ Wkrótce po odkryciu promieniotwórczości uranu przez Becquerela znany badacz angielski Crookes dowiódł, że uran zawiera jeszcze jeden pierwiastek promieniotwórczy, wysyłający promienie β , podczas kiedy sam uran promieniuje α .

Okazało się, że pierwiastek ten, nazwany przez Crookesa UX_1 , może być łatwo oddzielony od uranu przez strącenie soli uranowych węglanem amonu. Uran wypada wówczas w postaci tlenku uranowego UO_3 . Osad ten rozpuszcza się w nadmiarze odczynnika, ale niezupełnie: drobna część osadu pozostaje nierozpuszczona. Badając osobno roztwór i osad, Crookes przekonał się, że zdolność do promieniowania β koncentruje się całkowicie w nierozpuszczalnej części osadu. Spadek promieniotwórczości β odbywa się zgodnie z prawem logarytmicznym (str. 267) z okresem półtrwania, wynoszącym 23,8 dni. Podczas kiedy promieniotwórczość UX_1 stopniowo zanika, pierwotny osad uranowy powoli znów odzyskuje zdolność wysyłania promieni β , stosownie do prawa równowagi promieniotwórczej. Stąd wynika, że i w tym przypadku mamy do czynienia z powstawaniem produktu rozpadu uranu:

$$U = \alpha + UX_1. \quad \boxtimes$$

\boxtimes Z drugiej zaś strony okazało się dzięki badaniom Mc Coya i Rossa oraz Boltwooda, że atom uranu wysyła jednocześnie dwie cząstki α , posiadające różne zasięgi: 2,67 i 3,07 cm. Należy stąd wnioskować, że uran zawiera oprócz UX_1 jeszcze jeden dosyć trwały produkt rozpadu, wysyłający cząstki α . Ponieważ nie udaje się oddzielić tego produktu od uranu metodami chemicznymi, należy więc przypuścić, że produkt ten jest izotopem uranu. Nazwano go UII , — w odróżnieniu od pierwotnego produktu, który nazywamy UI . Okres półtrwania UII udało się obliczyć na podstawie empirycznego wzoru, podanego przez Geigera i Nuttgalla:

$$\log \lambda = A + B \log R_0,$$

w którym R_0 oznacza zasięg promieni α , wysyłanych przez dany pierwiastek, A i B zaś oznaczają stałe dla danego szeregu promieniotwórczego: $A = -37,7$ i $B = +53,9$. W ten sposób obliczono okres półtrwania UII na 2 000 000 lat. Okres półtrwania UI obliczono na podstawie stosunku uranu do radu w minerałach (str. 279) i znaleziono: $T = 5.10^9$ lat. \boxtimes

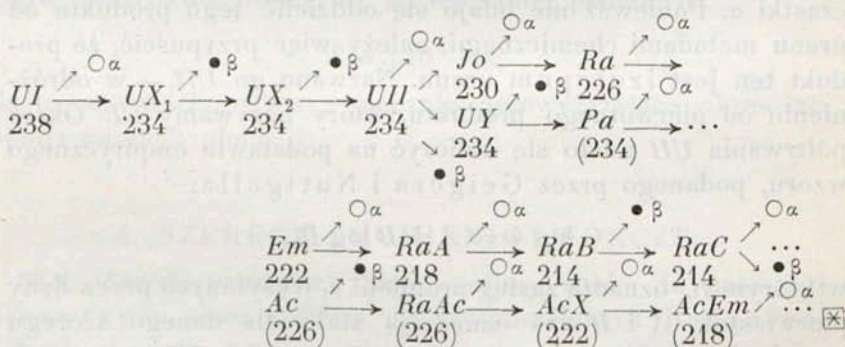
\boxtimes Na podstawie prawa »przesunięć«, odkrytego przez Fajansa i Russella (o którym będzie mowa w następnym rozdziale), uczeni ci przewidzieli, że pomiędzy UX_1 i UII powinien istnieć jeszcze jeden produkt rozpadu, który dotąd uszedł

uwagi badaczy wskutek swej krótkowieczności. W istocie Fajans i Goehring potrafili wydzielić ten produkt pośredni o okresie półtrwania 1,15 min, wysyłający promienie β . Otrzymał on nazwę UX_2 . ☒

☒ W podobny sposób stwierdzono istnienie ogniwa pośredniego pomiędzy UII i radem. Jest nim produkt długowieczny, zwany »jonem«, promieniujący α . Jego okres półtrwania wynosi około 10^5 lat. Znajduje się on w rudzie smolistej, z której wydzielony został poraz pierwszy przez Boltwooda i jednocześnie przez Marckwalda i Keetmanna. Jest on izotopem toru, towarzyszy mu w przyrodzie, ale nie daje się od niego oddzielić. ☒

☒ Wreszcie przez Antonowa został odkryty jeszcze jeden produkt rozpadu uranu: UY . Pierwiastek ten o okresie półtrwania, wynoszącym 25,5 godzin, powstaje jednocześnie z »jonem« podczas rozpadu UII , który ulega, podobnie jak RaC , podwójnemu rozpadowi (str. 275). Podobnie jak jon stanowi ogniwo przejściowe do szeregu radu, tak UY jest ogniwem przejściowym do szeregu *aktynu*, o którym zaraz obszerniej pomówimy. ☒

☒ W ten sposób otrzymujemy »drzewo genealogiczne« rodziny uranowo-radowo-aktynowej, podane w poniższym schemacie.

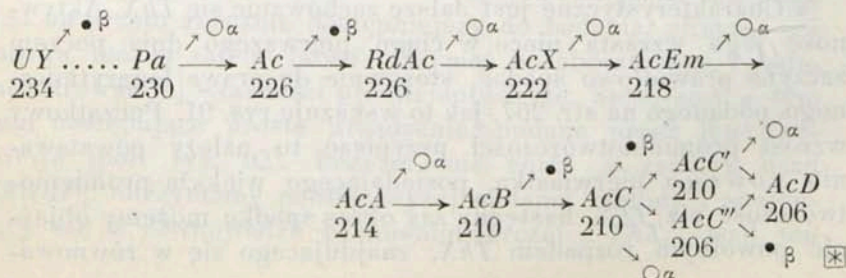


☒ *B. Szereg aktynu.* Aktyn został znaleziony obok radu w rudzie smolistej przez Debierne'a i Giesela. Z roztworu, zawierającego pierwiastki promieniotwórcze, wydzielił się on wraz z wodorotlenkiem żelaza od dodania amonjaku. Jego własności chemiczne wskazują na podobieństwo aktynu do metali ziem rzadkich. W rzeczywistości możemy go umieścić w trzeciej grupie układu okresowego Mendele-

je wa (por. str. 9), w jednym rzędzie poziomym z radem. Promieniotwórczość aktynu, znajdującego się w równowadze z produktami jego rozkładu jest przeszło 100 000 razy większa od promieniotwórczości radu. Występowanie aktynu w towarzystwie uranu wskazuje na związek genetyczny pomiędzy szeregiem aktynowym i szeregiem radowym. W istocie Hahn i Meitner odkryli ogniwo pośrednie pomiędzy temi dwoma szeregami w *protaktynie*, który jest produktem rozpadu uranu Y. Protaktyn, promieniujący α , posiada okres półtrwania 20 000 lat, ze względu na zachowanie się chemiczne jest *podobny* do tantalu (ale nie identyczny) i zajmuje wolne miejsce w ostatnim rzędzie poziomym V-ej grupy układu okresowego. Zalicza się on więc do rodziny wanadowców. ☒

☒ Produkty rozpadu aktynu zbadane zostały dokładnie przez Godlewskiego. Z badań tego przedwcześnie zmarłego polskiego uczonego wynika, że aktyn, wysyłając cząstki β , tworzy »radioaktyn«, ten zaś po stracie cząstki α tworzy aktyn X, którego własności promieniotwórcze są podobne do własności radu i który zajmuje w szeregu aktynowym miejsce, odpowiadające radowi w szeregu radowym. Analogja obu tych pierwiastków przejawia się w tem, że AcX , podobnie jak rad, tworzy »emanację aktynu«, — gaz szlachetny, zwany *aktynonem* i będący izotopem radonu. Wskutek rozpadu aktynonu powstają jeden po drugim trzy pierwiastki krótkowieczne: AcA , AcB i AcC , podobne do produktów rozpadu radonu. AcC ulega, podobnie jak RaC , podwójnej przemianie, na skutek której powstają *jednocześnie* AcC' i AcC'' . Produktem przemiany tego ostatniego i jednocześnie ostatecznym produktem rozpadu szeregu pierwiastków aktynowych jest AcD , będący izotopem *ołowiu* i RaG (str. 278). ☒

☒ W poniższym schemacie podajemy drzewo genealogiczne szeregu aktynowego, poczynając od UY :



⊗ Pomiedzy *UY* i *Pa* istnieje prawdopodobnie jeden lub kilka pierwiastków pośrednich. Ponieważ ciężaru atomowego aktynu nie udało się dotąd bezpośrednio oznaczyć, przeto liczby, podane w powyższym szeregu, należy uważać za niepewne. ⊗

⊗ *C. Szereg torowy.* Promieniotwórczość toru została odkryta przez G. C. Schmidta i p. Curie-Skłodowską prawie równocześnie z odkryciem radu. Praojcem szeregu torowego, który prawdopodobnie nie znajduje się w związku genetycznym z szeregiem urano-rado-aktynowym, — jest znany oddawna pierwiastek: tor, występujący w znacznych ilościach (4—5%) w piasku monacytowym. Tor należy do IV-ej grupy układu okresowego, t. j. do rodziny »tytanowców«. Jego własności fizyczne i chemiczne będą omówione później, w rozdziale o »tytanowcach«. Tutaj zaś pozostaje do omówienia tylko związek genetyczny toru z pierwiastkami, powstającymi wskutek rozpadu jego atomów. ⊗

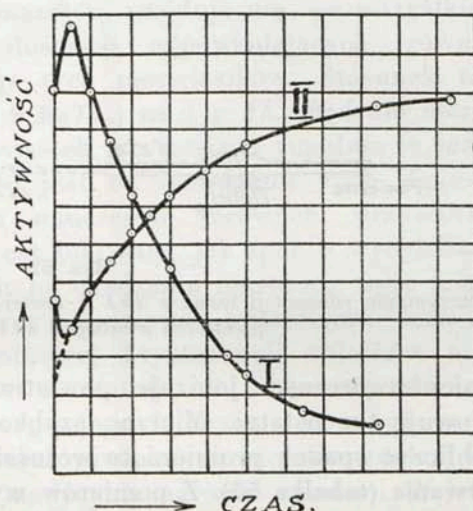
⊗ Produkty rozpadu toru tembardziej zasługują na wzmiankę, że na nich Rutherford i Soddy po raz pierwszy poddali próbie doświadczalnej teorię »rozpadu pierwiastków« (str. 262), która doprowadziła do tak doniosłych wyników. Badania te przeprowadzone zostały na torze X. Pierwiastek ten, będący produktem rozpadu toru, towarzyszy mu zawsze w przyrodzie i łatwo może być od niego oddzielony. Metoda oddzielenia *ThX* od toru jest podobna do metody oddzielenia *UX₁* (str. 281): roztwór azotanu toru, *Th(NO₃)₄* zadaje się amonjakiem. Wówczas tor wypada z roztworu w postaci *Th(OH)₄*, podczas kiedy *ThX* pozostaje w roztworze. Osad *Th(OH)₄* zawiera zaledwie drobną część pierwotnej aktywności, podczas kiedy pozostały roztwór po wyparowaniu pozostawia drobną ilość promieniotwórczej substancji, której aktywność przewyższa 1000-krotnie promieniotwórczość osadu *Th(OH)₄*. ⊗

⊗ Charakterystyczne jest dalsze zachowanie się *ThX*. Aktywność jego wzrasta nieco w ciągu pierwszego dnia, poczem zaczyna prawidłowo spadać, stosownie do prawa logarytmicznego, podanego na str. 267, jak to wskazuje rys. 91. Początkowy wzrost promieniotwórczości przypisać tu należy powstawaniu nowego pierwiastka, posiadającego większą promieniotwórczość niż *ThX*, następny zaś okres spadku możemy objaśnić powolnym rozpadem *ThX*, znajdującego się w równowa-

dze promieniotwórczej z produktem jego rozpadu. Dokładne pomiary wykazały, że okres półtrwania ThX , który, podobnie jak tor, promieniuje α , wynosi 3,64 dni. ☒

☒ Powróćmy teraz do pozostałego osadu $Th(OH)_4$. Promieniotwórczość jego, początkowo bardzo nieznaczna, spada jeszcze bardziej w ciągu pierwszego dnia, — t. j. wówczas, kiedy promieniotwórczość ThX jeszcze ciągle wzrasta, — poczem zaczyna stopniowo się powiększać, jak to wskazuje krzywa II na rys. 91. Otóż porównując obie krzywe, podane na tym wykresie: krzywą I (spadku aktywności ThX) i krzywą II (rekonwalescencji Th), możemy zauważyć w nich podobieństwo do zachowania się radu i produktu jego rozpadu, radonu, które było opisane na str. 265. Stąd wynika, że oba pierwiastki Th i ThX znajdują się w stanie równowagi promieniotwórczej i że jeden z nich (ThX) jest produktem rozpadu drugiego (Th). ☒

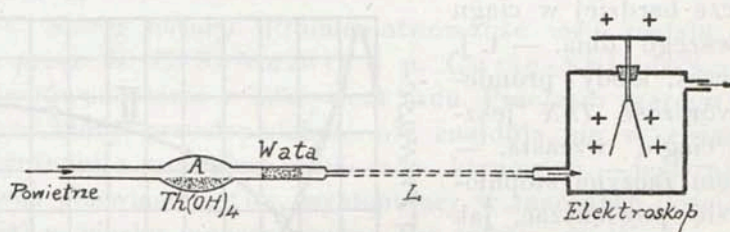
☒ Analogia pomiędzy szeregiem torowym i szeregiem radowym przejawia się dalej w tem, że ThX wytwarza gaz promieniotwórczy czyli emanację, którą zwiemy »toronem« i oznaczamy symbolem $EmTh$ albo Tn . Ponieważ tor występuje w przyrodzie w znacznie większych ilościach niż rad, jest on przeto znacznie dostępniejszy do badania. »Emanację« torową można zatem łatwo otrzymać w laboratorium i zdemontrować jej własności promieniotwórcze. Stosujemy w tym celu następujące proste urządzenie, podane przez Rutherforda (por. rys. 92). Rozszerzenie rurki A zawiera osad $Th(OH)_4$, otrzymamy podług wyżej podanej metody i znajdujący się w równowadze promieniotwórczej z ThX . Osad ten



Rys. 91.

Spadek promieniotwórczości toru X (krzywa I) i wzrost promieniotwórczości toru (krzywa II).

wydziela stale »toron«. Przez rurkę *A* przepuszczamy prąd powietrza, oczyszczony przez warstwę waty, który następnie przechodzi przez rurkę *L*, posiadającą około 1 m długości, i wreszcie wprowadzony zostaje do komory elektroskopu. Prąd powietrza unosi z sobą gazowy toron, który dzięki pro-



Rys. 92.

Otrzymanie »emanacji toru« z *ThX* i stwierdzenie jej zdolności jonizowania powietrza według Rutherforda.

mieniotwórczości jonizuje powietrze w elektroskopie i wyładowuje ten ostatni. Mierzac szybkość wyładowania, możemy obliczyć spadek promieniotwórczości toronu i jego okres półtrwania (tabelka 52). Z pomiarów wynika, że okres półtrwania toronu jest znacznie krótszy od okresu półtrwania radonu: wynosi on zaledwie 54,5 sek. Zbytecznem chyba będzie nadmienienie, że toron jest izotopem radonu i aktynonu, że posiada więc te same własności fizyczne i chemiczne — oprócz ciężaru atomowego. ☒

☒

TABLICA 52.

Spadek promieniotwórczości emanacji toru
podl. Rutherforda.

Czas: <i>t</i>	Promieniotwórczość: <i>J</i>	$\log J$	$\alpha = \frac{\log J_0 - \log J}{t}$
0 sek	100	2,0000	—
28 „	69	1,8388	0,0576
62 „	51	1,7076	0,0472
118 „	25	1,3979	0,0510
155 „	14	1,1461	0,0551
210 „	6,7	0,8261	0,0559
272 „	4,1	0,6128	0,0510
360 „	1,8	0,2553	0,0485
			0,05233

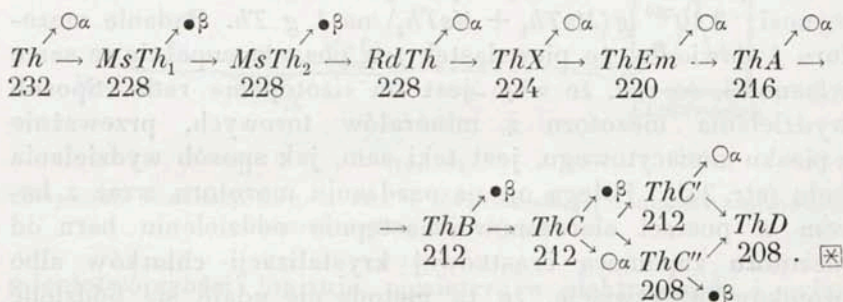
☒

⊗ Należy tu nadmienić, że pomiędzy torem i ThX istnieje jeszcze kilka pierwiastków pośrednich, które zostały odkryte i szczegółowo zbadane przez O. Hahna. Są to: mezotor 1, mezotor 2 i radjotor, będący bezpośrednim poprzednikiem toru X , o którym poprzednio była już mowa. Jako bezpośredni produkt rozpadu toru, mezotor znajduje się we wszystkich minerałach torowych w ilościach, odpowiadających »równowadze promieniotwórczej« tych pierwiastków. Stosunek ten wynosi: $3 \cdot 10^{-10} g(MsTh_1 + MsTh_2)$ na $1 g Th$. Badanie mezotoru 1 dowiodło, że pierwiastek ten posiada zupełnie te same własności, co rad, że więc jest on »izotopem« radu. Sposób wydzielania mezotoru z minerałów torowych, przeważnie z piasku monacytowego, jest taki sam, jak sposób wydzielania radu (str. 241). Polega on na osadzaniu mezotoru wraz z barem w postaci siarczanów i następnie oddzieleniu baru od mezotoru zapomocą cząstkowej krystalizacji chlorków albo bromków. Oczywiście, że tą metodą nie udaje się oddzielić mezotoru od radu, będącego jego izotopem. Ze względu na dostępność i taniość minerałów torowych mezotor znalazł zastosowanie praktyczne w medycynie, narówni z radem. W istocie działanie fizjologiczne obu pierwiastków jest bardzo podobne, mezotor zaś jest znacznie tańszy od radu. Uwzględnić jednak należy, że mezotor posiada znacznie krótszy średni okres życia. Jego okres półtrwania wynosi zaledwie 6,7 lat, podczas kiedy okres półtrwania radu wynosi, jak widzieliśmy, 1733 lat. ⊗

⊗ Produkty rozpadu toronu odpowiadają w zupełności produktom rozpadu radonu i aktynonu; sposób oznaczania produktów rozpadu toronu jest przeto podobny do oznaczeń produktów rozpadu emanacji radu i aktynu. ⊗

⊗ A więc z toronu powstaje wskutek straty cząstki α »osad promieniotwórczy«, zawierający ThA , ThB i ThC w równowadze promieniotwórczej. Rodzaje promieniowania, okresy półtrwania i inne własności tych pierwiastków zostały bardzo dokładnie zbadane przez Rutherforda. ThC ulega, podobnie jak RaC i AcC , podwójnej przemianie, wskutek której powstają jednocześnie dwa pierwiastki promieniotwórcze, oznaczane symbolami ThC' i ThC'' . Pierwszy z nich żyje najkrócej ze wszystkich znanych pierwiastków promieniotwórczych: jego okres półtrwania wynosi bowiem zaledwie 10^{-11} sek. Wresz-

cie ostatnim produktem przemiany tego szeregu jest pierwiastek zupełnie niepromieniujący: *ThD*, będący, podobnie jak *RaD*, *RaG* i *AcD*, izotopem ołowiu. Jego ciężar atomowy wynosi, jak to wynika z poniższej tabelki, 208, czyli prawie o 1 więcej, niż ciężar atomowy »zwykłego« ołowiu. Na podstawie przytoczonych wyżej badań otrzymujemy więc następujące drzewo genealogiczne toru i jego potomków.



⊗ *D. Potas i rubid.* Oprócz wyżej przytoczonych pierwiastków, z których każdy jest członem szeregu promieniotwórczego, znamy dwa pojedyncze pierwiastki promieniotwórcze należące do pierwszej grupy układu okresowego. Są to pierwiastki dawno znane: *potas* i *rubid.* Wogóle pierwiastki promieniotwórcze posiadają wysokie ciężary atomowe i zajmują z tego względu miejsca w dwóch ostatnich rzędach poziomych układu okresowego (por. tabl. na str. 9). Potas i rubid jednak posiadają ciężary atomowe znacznie mniejsze. Oba te pierwiastki promieniają wyłącznie β . Ich promieniotwórczość jest bardzo słaba. Wystarcza ona jednak do otrzymania »radjogramów« po dostatecznie długiej ekspozycji. Promieniotwórczość potasu jest 10 razy mniejsza od promieniotwórczości rubidu. Okres półtrwania rubidu obliczają na 7.10^{10} lat. Okres półtrwania potasu powinien być jeszcze 10 razy dłuższy. Produkty przemiany obu pierwiastków nie są znane. Na podstawie pewnych teoretycznych dociekań, o których będzie mowa w następnym rozdziale, przypuszczają, że produktem przemiany potasu powinien być pierwiastek drugiej grupy układu okresowego, mianowicie izotop wapnia z ciężarem atomowym 41. Dotąd jednak nie udało się potwierdzić tego przypuszczenia na drodze doświadczalnej. ⊗