

Nie będziemy próbowali streszczać tych, ani innych pokrewnych poszukiwań społecznych. Ograniczymy się do powyższego elementarnego zarysu pierwszych podstaw Nauki o Promieniowaniu. Z biegiem lat, praca zbiorowa pokolenia wydobędzie z usiłowań dzisiejszych, co w nich jest owocne i twórcze; uzbrojona w nowe narzędzie, będzie sobie dalej torowała drogę przez nasze niepojmowanie Natury.

TADEUSZ GODLEWSKI.

O promieniotwórczych własnościach aktynu.

Sur les propriétés radioactives de l'actinium.

Metody chemiczne otrzymywania preparatów aktynu.

Znana jest dobrze metoda, którą posługiwali się państwo Curie celem wydzielenia radu z pechblendy. Po uwolnieniu smołowca przy pomocy węglanu sodowego i kwasu siarkowego od uranu, przeprowadzano nierozpuszczalne siarczany przez gotowanie ze stężonym roztworem sody w węglany, a następnie w znacznej części przy pomocy kwasu solnego w chlorki. Z nierozpuszczonego osadu można było otrzymać rad przez dalsze czyszczenie. Gdy do zakwaszonego roztworu chlorków dodano siarkowodoru, strącał się polon z bizmutem, ale pewna część ciał pozostawała jeszcze w filtracie. W roku 1899 uczony francuski Debierne,^{1*)} kierowany myślą, czy nie możnaby wydzielić jeszcze nowej promieniotwórczej substancji, zajął się zbadaniem tych właśnie ciał, które z zakwaszonego roztworu powyższych chlorków nie siarkowodorem, ale amoniakiem strącić się dają.

Analizy wykazały, że przeważna część produktów strąconych amoniakiem składała się z wodorotlenków żelaza i glinu, obok tego jednak znajdowały się jeszcze, choć w ilościach mniejszych pierwiastki: Zn, Mn, Cr, Va, Ur, Ti, Ni, Ta, a z ziem rzadkich La, Di, Ce i ziemie ytrowe. Bardzo słaba początkowo promieniotwórczość preparatu koncentrowała się przez zastosowanie odpowiednich metod coraz więcej, i to tak dalece, że ostatecznie można

*) Odnośniki liczbowe wskazują numery prac, zestawionych chronologicznie w spisie umieszczonym na końcu.

było otrzymać substancję, posiadającą własności analityczne tytanu, która okazywała nadzwyczajnie potężną aktywność, bo około sto tysięcy razy większą od uranu. Dalsze badania okazały,²⁾ że substancja ta nie podlegała przecież wszystkim reakcyom tytanu. Obok zwyczajnych reakcyj, wspólnych dla pierwiastków grupy żelaza, wskazał Debierné jeszcze następujące metody, szczególnie skuteczne do koncentrowania nowej substancji:

1. Strącanie wrzących, słabo kwasem solnym zakwaszonych, roztworów tiosiarczanem sodowym w nadmiarze, przyczem strąć zawiera całą aktywność.

2. Działanie fluorowodoru i fluorku potasu na świeżo strącone, w wodzie zawieszony, wodniki, przyczem część rozpuszczalna jest tylko słabo aktywna i można z niej tytan wydzielić.

3. Strącanie neutralnych roztworów wodą utlenioną; osad porywa z sobą promieniotwórczą substancję.

4. Strącanie nierozpuszczalnych siarczanów; przy każdym strąceniu porywa osadzający się siarczan (np. BaSO_4) ciało promieniotwórcze ze sobą, tak że osad okazuje się bardzo czynnym.

Kwas szczawiowy strącał czynną substancję razem z ziemiami rzadkimi, szczególnie wtedy, gdy te ostatnie znajdowały się w większej ilości.

Przez zastosowanie powyższych metod, które wszelako raczej należy uważać za środki prowadzące do oczyszczenia substancji, niż jako właściwe i charakterystyczne dla ciała analityczne metody, był w stanie Debierné przeważną część nowej substancji z używanego smołowca wydzielić. Badania spektroskopowe, dokonane przez doskonałego specjalistę w tym względzie, Demarçay'a, okazały, że substancja składała się przeważnie z toru, do którego także i w swem analitycznym zachowaniu wydawała się bardzo zbliżona w wielu, jakkolwiek nie we wszystkich reakcyach. Okazało się później¹⁵⁾, że przez zastosowanie odpowiednich metod aktywna substancja najlepiej dawała się skoncentrować na ziemiach cerowych. W jednym z późniejszych badań spektralnych starego preparatu otrzymał Debierné²⁷⁾ intensywne ciągłe widmo razem ze słabymi liniami wodoru i rtęci. Fotografia tego widma przedstawia wstęgę doskonale ciągłą i rozciągającą się bez żadnego osłabienia od $\lambda 340 \mu\mu$ do $\lambda 650 \mu\mu$. Widma tego dotychczas jeszcze nie zidentyfikowano.

Tę to substancję, w powyższy sposób względnie oczyszczoną, posiadającą nadzwyczajnie silną i stałą aktywność nazwał Debierné aktywnem (*actinium*).

Już na początku swych badań spostrzegł Debierné¹⁾, że promienie wysyłane przez aktywny wywoływały te same zjawiska, jak promienie radu lub polonu. I tak wzbudzały np. promienie aktywny żywą fosforoscencję platynosinku barowego, działały na płytę fotograficzną, sprawiały jonizację w otaczającym gazie. Część promieni dawała się odchylić²⁾ w silnym magnetycznym polu. Aktywny posiadał dalek ³⁾ indukowania przemijającej aktywności

na innych ciałach, z którymi przez pewien czas razem w roztworze przebywał. Podobnie jak rad, posiada także i aktywny umieszczony w zamkniętym naczyniu własność wywoływania silnej i wyraźnej wzbudzonej aktywności. Aktywność ta wzbudzona zbiera się w polu elektrycznym przedewszystkiem na katodzie⁷⁾, a w naczyniu zamkniętym, wypełnionem powietrzem, występowała silniej na powierzchni tych ciał, które leżały bliżej preparatu. Przyczynę aktywności wzbudzonej widział Debierné⁶⁾ w „jonach aktywujących“, jak początkowo emanację nazywał, które miały być wysyłane z aktywnu. Te aktywujące jony zamierały jednak z czasem według ściśle określonego, wykładniczego prawa nadzwyczajnie szybko (do połowy w 3-9 sek.)⁹⁾, przemieniając się w „jony indukujące“. Obok tej tak szybko zanikającej emanacji zauważył także Debierné⁹⁾, że preparaty jego wydawały prócz tego małą ilość emanacji wolno się przekształcającej, która, jak się później²⁷⁾ okazało, była emanacją radu.

W roku 1902 zauważył Giesel⁴⁾, że niektóre preparaty, zawierające małe zanieczyszczenia radem, wydawały w ogromnej ilości emanację, jakkolwiek okazywały stosunkowo bardzo niewielką aktywność. Na ekranie, powleczonym siarczkiem cynkowym, wzbudzała ta emanacja żywe fosforyzujące światło, które pod wpływem najłżejszego podmuchu powietrza szybko się poruszało. Kiedy naelektryzowano ekran influencyjną maszynką ujemnie, wtedy przy zbliżeniu preparatu zawiniętego w bibułę zaczynał on świecić, i to nierównomiernie, ale w pewien szczególny sposób, okazując mnóstwo świecących kółeczek i punktów. Światło zniknęło odrazu po odsunięciu preparatu, lub po rozbrojeniu albo dodatniem naelektryzowaniu ekranu.

Ponieważ żadna ze znanych w tym czasie substancyj nie wydawała takiej emanacji, lub przynajmniej o tem nie wiadano, rozpoczął Giesel dokładniejsze badania ciała, wydającego tę emanację, i badania jego zostały wkrótce uwieńczone najlepszym wynikiem⁵⁾, ponieważ był w stanie wydzielić nową substancję, którą nazwał „ciałem emanującym“ (*Emanationskörper*).

Ciało emanujące należy, powiada Giesel⁵⁾, do grupy ziem cerowych i podlega reakcyom tej grupy. Surowy materiał otrzymuje się najłatwiej ze smołowca przy pomocy siarczanu sodowego. Do dokładniejszego opracowania⁵⁾ wziął Giesel ług macierzysty, uwolniony od bromku radu i znacznej części bromku baru. Ług ten zawierał emanującą substancję w stanie stosunkowo, najmniej zanieczyszczonym przez ziemię szlachetne. Strąć amoniakalny tego ługu rozpuszczono w kwasie solnym i odparowano na łaźni wodnej do suchości. Kiedy substancję tak otrzymaną rozpuszczano w wodzie, okazało się, że zostało kilka centygramów nierozpuszczalnej pozostałości, która zawierała najczynniejszą substancję. Z odsącza, który, traktowany siarkowodorem dał tylko minimalny strąć, zawierający ołów, można było otrzymać przez strącenie kwasem szczawowym około 2 gramów substancji, pra-

wie równie silnie aktywnej, jak nierozpuszczalna pozostałość. Następny strąć filtratu amoniakiem, zarówno jak i ostateczne strącenie węglanem amonowym—przyczem przeważnie otrzymano magnezję—okazały się wprawdzie mniej czynne, ale za to po odparowaniu i wyżarzeniu ostatniego odsączu otrzymano minimalną ilość, ale nadzwyczajnie czynnej pozostałości.

Szczawian tych ziem szlachetnych rozpuszcza się łatwo w kwasie solnym; roztwór jest początkowo pomarańczowy, następnie po wydzieleniu chlorku bezbarwny. Chlorek krystalizuje łatwo, podobnie do soli lantanu, jest po odwodnieniu sam fosforyzujący i wydaje z siebie emanację. Siarczan krystalizuje wyraźnie, ale nie fosforyzuje i nie wydaje emanacji *).

Giesel zauważył dalej¹⁰⁾, że aktywność stałych soli tych ziem szlachetnych w przeciągu pierwszego miesiąca po wydzieleniu z roztworu wzrastała, po miesiącu osiągała maximum, poczem pozostawała zupełnie stała. Początkowe promieniowanie, mierzone promieniami β , było tem mniejsze, im dłużej substancja była trzymana w roztworze i im bardziej ten roztwór był rozcieńczony. Z drugiej jednak strony okazało się, że wszystkie emanujące substancje, które nie należały do ziem szlachetnych, jak np. wyżej wspomniana pozostałość po odparowaniu, jak strąty magneu, strontu, ewentualnie baru, traciły z biegiem czasu powoli zarówno swą aktywność jak zdolność wysyłania emanacji. Niestety Giesel nie podaje żadnych ilościowych pomiarów, ani szybkości początkowego wzrostu aktywności ziem szlachetnych, ani zamierania jej w ostatnich przypadkach; powiada tylko, że zamieranie trwało rok lub dłużej.

Za główne zanieczyszczenie substancji emanującej uważał Giesel⁵⁾ lantan, i przez porównanie natężenia promieniowania tych preparatów z promieniowaniem radu doszedł do wniosku, że substancja emanująca powinna by zawierać około 0.1 procent nowego pierwiastka (Emanium). Badania widma dokonane przez Rungego i Prechta¹⁰⁾ okazały, że emanujące ciało składało się istotnie przedewszystkiem z lantanu; w mniejszej ilości stwierdzono także obecność ceru. Toru, baru i radu nie znaleziono wcale. Nowych linii widmowych nie można jednak było zauważyć.

Odwodniony chlorek i bromek¹⁰⁾, które już same fosforyzują, okazały nieciągłe fosforocyjne widmo, składające się z trzech linii w zakresie od czerwonej do niebieskiej zielonej barwy. Hartmann¹²⁾, który zajął się dokładniejszym zbadaniem tego widma fosforescyjnego, był w stanie określić najsilniejszą z tych linii z zupełną dokładnością przy pomocy fotografii, jako odpowiadającą długości fali $\lambda 4685.4$. Dwie słabsze linie zmierzył optycznie

*) Co do dalszych poszczególnych reakcyj patrz pracę oryginalną¹⁵⁾, a dalej Boltwood⁷⁷⁾.

mniej dokładnie jako $\lambda 5300$ i $\lambda 5909$. Początkowo wydawało się rzeczą możliwą, że linie te są charakterystyczne właśnie dla emanu, jak Giesel nazywał czynny składnik emanującej substancji. Późniejsze badania, wykonane przez samego Giesela, okazały jednakże, że linie te należą nie do emanu, lecz do dydymu.

Giesel prowadził dalej szereg badań celem wynalezienia metod do najłatwiejszego skoncentrowania emanu. Najlepszy środek, prowadzący do tego celu, widzi on ostatecznie²⁹⁾ w zastosowaniu t. zw. sztucznego strącania. Polega on na tem, że strącający się siarczan barowy ze wszystkich ziem szlachetnych najchętniej porywa emanującą substancję. Już po jednym strąceniu otrzymuje się preparat ogromnie wzmocniony. W ten sposób także najlepiej oddziela się większe ilości lantanu. Obok tego, podobnie i cząstkowe strącanie magnezją okazało się bardzo korzystne; eman zarówno jak lantan strąca się najtrudniej. Porcyce lantanowe są zawsze najsilniej aktywne, dydymowe najsłabiej. Cer pociąga ze sobą stosunkowo łatwo eman, mniej łatwo jednak niż lantan. Okazało się dalej, że im dokładniej usunięty jest cer z oczyszczonych już preparatów, tem żywsza jest własna fosforoscencya chlorków. Jakkolwiek jednak aktywność w znacznej części przypadków idzie za lantanem, przecież nie jest ona istotnie z nim związana, tak np. otrzymał Giesel²⁶⁾ z ziem cerowych, zawierających eman, drogą wielokrotnej krystalizacji podwójnych azotanów magnowych, sól lantanową wolną od emanu, a więc nieczynną.

Zdolność wydawania emanacji różnych preparatów w tem samym połączeniu chemicznem była zawsze⁵⁾ w tym samym stosunku, jak natężenia ich promieniowań.

Promieniowanie można było przynajmniej częściowo odchylić w polu magnetycznem. Prąd powietrza porywa, jak wyżej wspomnieliśmy, ze sobą emanację, która powoduje charakterystyczne iskrzenie (scintillation) zwyczajnie używanych ekranów, a najsilniej fosforyzującego ekranu powleczonego siarczkiem cynku. Prąd powietrza, unoszący emanację, rozbraja w jednej chwili elektroskop. Cieniutka płytka celuloidowa powstrzymuje emanację. Nadzwyczajnie wyraźne okazało się indukujące działanie tej substancji; wszystkie przedmioty, leżące w pobliżu preparatu, nabierały silnej aktywności (wzbudzonej), która zbierała się przedewszystkiem i najwięcej na ciałach ujemnie naelektryzowanych.

Ze względu na metody chemiczne otrzymania zarówno jak i ze względu na charakterystyczne zjawiska fosforescencyi, jak wreszcie i ze względu na brak linii radu i toru w widmie, można było wykluczyć przypuszczenie, żeby aktywność substancji emanującej mogła pochodzić od radu, toru lub uranu. Giesel przeto zwrócił sam uwagę⁵⁾ na możliwość identyczności emanu z aktynem Debierne'a. Charakterystycznych jednak zjawisk fosforescencyi,

które Giesel otrzymał z emanem, początkowo nie uważano u aktywnu. Giesel, bawiąc w r. 1904 w Paryżu, zaproponował Debierné'owi, aby przy pomocy przywiezionego przezeń ekranu z siarczka cynku porównać oba preparaty. Okazało się istotnie, że oba preparaty zachowywały się zupełnie¹⁴⁾ ¹⁵⁾ podobnie. Dalsze badania stałych przekształceń produktów pochodnych stwierdziły jeszcze wyraźniej istotną identyczność aktywnego czynnika, zawartego w substancji emanującej Giesela i w preparatach Debierné'a. Identyczność tę będziemy widzieli najjaśniej, gdy zestawimy własności promieniotwórcze obu ciał. Rozstrzygnięcie pytania co do identyczności dwu ciał, znajdujących się w tak minimalnych ilościach, że uchylają się one nawet z pod spektroskopowego badania, mogło istotnie być dokonane tylko drogą badań radioaktywnych. Zanim przejdziemy do systematycznego porównania promieniotwórczych własności obu tych ciał, musimy poznać bliżej produkty ich przemiany, przyczem zachowamy przyjętą już dziś powszechnie „nomenklaturę aktywnu“.

Teoria zmian kolejnych.

Powszechnie przyjęta dzisiaj hipoteza zmian kolejnych przypuszcza, jak wiadomo, że atomy ciał promieniotwórczych ulegają ciągłemu przeobrażaniu, że przemieniają się same z siebie w atomy nowych produktów. Każdy z wytworzonych produktów jest, według tej hipotezy, zupełnie odrębnym, charakterystycznym pierwiastkiem, ale pozostaje nim tylko przez pewien czas, przybierając później przez dalszą przemianę nową formę wewnętrzną, a z nią nowe własności. Zwyczajnie do badań otrzymujemy produkty te w tak minimalnych ilościach, że wskutek tego uchylają się one nie tylko z pod badania chemiczno-analitycznego, ale nawet i widmowego. Ale w chwili przeobrażenia przekształcające się atomy wysyłają na zewnątrz promienie, które powodują jonizację w otaczającym gazie. Pomiar elektryczny tej jonizacji pozwala nam ściślej śledzić przemiany atomów promieniotwórczych. Przemiana odbywa się w czasie według prostego prawa wykładniczego. Szczegółowe i dokładne badania okazały, że okres czasu, potrzebny do przemiany określonego ułamka liczby atomów zdolnych do przemiany, nie zależy zupełnie od warunków fizycznych i chemicznych, w których badane ciało się znajduje. Ten okres czasu jest przeto dla danego ciała ściśle charakterystyczny. Badanie własności i natury wydawanych przez ciało promieni i pomiary szybkości przemiany danego produktu stanowią potężne środki „analizy promieniotwórczej“, analizy, tysiące razy czulszej nawet od widmowej.

Teorię powyższą podali w r. 1902-im Rutherford i Soddy na podstawie badań nad aktywnością toru, z którego udało im się wydzielić substancję, nazwaną przez nich ThX. Stosunkowo wielka aktywność tej sub-

stancji zamierała z czasem według prawa wykładniczego (do połowy w ciągu 4 dni) podczas kiedy tor, pozbawiony początkowo przez wydzielenie tej substancji znacznej części swej aktywności, odzyskiwał ją z biegiem czasu, i to według krzywej ściśle dopełniającej. Fakt ten objaśniają wspomniani badacze, przyjmując hipotezę, że tor produkuje ciągle substancję ThX, która przemienia się w dalszy produkt (emanację). Dalsze badania udowodniły, że można wykazać szereg przemian, którym atom toru ulegał, a dalej że zupełnie analogiczne przemiany można stwierdzić także i u innych ciał promieniotwórczych. Przyjrzyjmy się dokładniej tym przemianom w przypadku aktywnu.

Aktywn X (AcX).

Wiadomo, że rad po przeprowadzeniu do stanu stałego z roztworu okazuje początkowo aktywność znacznie mniejszą niż ta, której z czasem nabywa. Aktywność jego wzrasta przez całe miesiące, zanim osiągnie najwyższą wartość. Podobne zjawisko zaobserwował Giesel⁵⁾ ¹⁰⁾ i w przypadku emanium; zauważył bowiem, że aktywność „ciała emanującego“, mniej więcej w miesiąc po wydzieleniu z roztworu, osiąga maximum i później dopiero pozostaje niezmienna. Doświadczenia Giesela były następujące: Preparaty zawierające 5—10 g. tlenku, otrzymanego przez wyżarzenie szczawianów, rozpuszczano w kwasie solnym, strącono z tego roztworu ziemie szlachetne, a z nimi i emanium amoniakiem, a filtrat odparowywano. Po wypędzeniu przez ogrzewanie par salmiaku, okazywało się, że pozostawała mała ilość osadu, składającego się przede wszystkim z chlorku strontu; osad ten był silnie β -aktywny, wydawał emanację i to nie tylko w stanie stałym, ale i rozpuszczony w wodzie, i to nawet po wyżarzeniu. Gdy z tego roztworu strącono stront jako węgiel, aktywność gromadziła się znów na nim, a filtrat odparowany był nieaktywny. Roztwór chlorku strontu dawał z siarkowodorem lekkie zmaczenie, zaledwie dające się na filtrze zauważyć, wykazujące przecież silną aktywność.

Początkowo Giesel¹⁵⁾ uważał te fakty za wskazówkę pewnych zanieczyszczeń preparatów. Później dopiero²⁰⁾ kiedy się okazało, że β aktywność*) tego minimalnego osadu, otrzymanego przez strącenie siarkowodorem, po 2-ch miesiącach zupełnie znika i kiedy poglądy teorii zmian kolejnych zaczęły z każdym miesiącem zyskiwać nowe potwierdzenia, przypuścił, że występuje tu nowy produkt promieniotwórczy, który nazwał emanem X, podobnie jak produkt, poprzednio¹⁹⁾ przezemnie aktywnem X nazwany.

Niezależnie od tych badań i przed ich ogłoszeniem rozpocząłem¹⁹⁾, na wniosek prof. Rutherforda w Montreal, w jego instytucji, doświadczenia

*) Jak zobaczymy zaraz musiała zniknąć i α aktywność.

celem rozstrzygnięcia, czy by się nie udało wydzielić z aktywnego produktu analogicznego do substancji ThX. Szeregi produktów toru i aktywnego zestawione przez Rutherforda¹¹⁾ były tak podobne, że można było spodziewać się, że pomiędzy aktywnym i jego emanacją znaleźć będzie można produkt analogiczny jak Thorium X pomiędzy torem i emanacją toru. Doświadczenia robione były z preparatem „ciała emanującego“, dostarczonego uprzejmie laboratorium fizycznemu w Montreal przez p. Giesela.

Ze względu na wielką analogię toru i aktywnego zastosowałem do wydzielenia spodziewanego produktu tę samą metodę, którą posługiwali się Rutherford i Soddy celem wydzielenia ThX. Metoda była więc podobna do tej, której używał także i Giesel. Doświadczenia powtarzane czterokrotnie dały wyniki zgodne. Aktywność α mierzono elektrometrem kwadrantowym, aktywność β czułym elektroskopem Wilsonowskim.

W każdej seryi doświadczeń rozpuszczano około 15 centygramów aktywnego (o aktywności około 300 jednostek uranu) w rozcieńczonym kwasie solnym. Po dodaniu amoniaku w nadmiarze, filtrowano możliwie szybko osad, którego aktywność zaraz po wysuszeniu mierzono. Filtrat odparowany ogrzewano w szalce platynowej, aż cały salmiak się ulotnił; mała pozostałość miała barwę czarną, która przy dalszym żarzeniu przechodziła w białą. Gdy tylko szalka ostygła, mierzono aktywność pozostałego osadu.

Okazało się, że osad ten, z filtratu amoniakalnego otrzymany, początkowo bardzo silnie aktywny, tracił swą aktywność z czasem według prostego prawa wykładniczego. Z drugiej strony aktywność pozbawiony przez to strącenie amoniakiem prawie całej swej α , β i γ aktywności odzyskiwał ją z biegiem czasu, według krzywej przybliżenie uzupełniającej.

Ponieważ promieniotwórcze zachowanie się tej substancji, amoniakiem wydzielonej z aktywnego, okazało się zupełnie analogiczne z zachowaniem Thorium X, przeto nadałem¹⁹⁾ jej nazwę Aktyn X (AcX).

Początkowa aktywność produktu AcX była wiewiele razy (w stosunku do wagi) większa od aktywności macierzystego aktywnego, z którego go wydzielono²²⁾. Absolutna wartość tej aktywności była w różnych doświadczeniach proporcjonalna do ilości substancji, z której produkt wydzielono, ale nie była bynajmniej proporcjonalna do masy osadu z filtratu otrzymanego. Fakt ten wskazuje wyraźnie, że osad ten składa się z zanieczyszczeń, wśród których aktywny produkt AcX znajduje się w ilości zważyć się nie dającej.

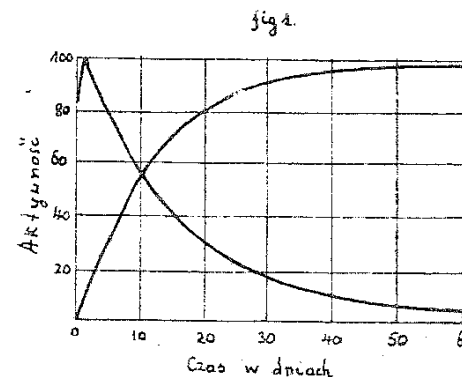
Zachowanie się promieniotwórcze AcX (krzywa A) i aktywnego pozbawionego tej substancji (krzywa B) przedstawione jest graficznie na Fig. 1.

Jak widać, aktywność AcX wzrasta w pierwszym dniu po wydzieleniu o 15%, osiąga maximum, poczem spada według prostej krzywej wykładniczej

$$J = J_0 e^{-\lambda t}$$

w 10,2 dniach do połowy. Na tej podstawie oblicza się stałą radioaktywnej przemiany $\lambda = 0,068$ (dni).

Jeśli weźmiemy za odcięte czasy, a za rzędne logarytmy odpowiedniej aktywności, powinniśmy otrzymać linię prostą, której pochylenie określa powyższa liczba. Punkty znalezione doświadczalnie leżą istotnie na prostej, ale ściśle tylko wtedy, gdy od znalezionej doświadczalnie aktywności odejmiemy 2,7% początkowej aktywności. Te 2,7% przedstawiają więc aktywność, która



nie zmienia się z czasem, lub zmienia się bardzo powoli. Pochodzi ona prawdopodobnie albo z porwanego razem z AcX innego produktu wolno się przetwarzającego (np. RaAc), lub z innego promieniotwórczego zanieczyszczenia. Nie przedstawia jednak końcowego produktu powolnego w rodzaju jak polonium w rodzinie radu, gdyż badania aktywności dalszych produktów aktywnego AcA, AcB, AcC niezawodnie musiałyby wykazać tak dużą aktywność.

Aktywność aktywnego, od którego oddzielono AcX, wzrastała według krzywej prawie uzupełniającej. Pewne odstępstwa od krzywej teoretycznej, danej przez równanie

$$J = J_0 (1 - e^{-\lambda t}),$$

można było wszelako zawsze obserwować. Większa ilość osadu, zawierającego różne zanieczyszczenia, musiała spowodować, że krzywe te, choć mierzone w warunkach identycznych zewnętrznie jak AcX, dawały przedewszystkiem aktywność β , bo promienie α w znacznej części mogły w samym materiale uleść absorbcy. Ogólnie od razu widocznym już było, że krzywe zamierania aktywności AcX były wiele dokładniejsze, niż krzywe wzrostu u aktywnego.

Początkowy wzrost aktywności AcX, bezpośrednio po oddzieleniu, jest również analogiczny do podobnego wzrostu aktywności ThX. Tłómaczy się on przez powstawanie produktów depozytu aktywnego, które, jak niebawem

zobaczymy, z aktynu X się tworzą. Jak okazały doświadczenia, produkty te są rozpuszczalne w amoniaku, a zarazem łatwo lotne. Przy strąceniu aktynu amoniakiem przechodzą one razem z AcX do filtratu. Przy żarzeniu jednak, celem usunięcia salmiaku, ulatniają się, tak że pozostaje w osadzie sam AcX. Ale aktyn X produkuje ciągle emanację, która z kolei przetwarza się prawie momentalnie w produkty depozytu AcA, AcB i t. d. Aktywność tych produktów może początkowo więcej nawet niż zrównoważyć powolne zanikanie ilości produktu AcX, na skutek czego całkowita aktywność wzrasta. Z drugiej strony aktyn utracił przez traktowanie amoniakiem nie tylko AcX, ale i cały depozyt aktywny. Wskutek tego aktywność jego od samego początku musi wzrastać, i to z dwóch powodów: wskutek wytworzenia produktu AcX i wskutek wytworzenia produktów depozytu aktywnego, które z emanacji, wytwarzającej się z AcX, od razu prawie powstają. Z tego powodu nie otrzymujemy w początku krzywej zysku aktywności aktynu, analogicznego spadku na samym początku, jaki występował w analogicznym przypadku u toru.

Ogólnie tedy można było stwierdzić, że zachowanie się produktu AcX i aktynu, tegoż produktu pozbawionego, było w głównych zarysach analogiczne do zachowania się materii ThX i toru, z którego tę materię usunięto. Napotykały tu wszelako jeden fakt szczególny, właściwy tylko aktynowi.

Po usunięciu substancji ThX, tor posiadał zawsze około 25% rezydium aktywnego, którego niepodobna było usunąć zupełnie żadnymi fizycznymi i chemicznymi metodami; podobną nieoddzielną aktywność w ilości również około 25% posiada rad, po zupełnym usunięciu emanacji i dalszych produktów. Ta nie dająca się oddzielić aktywność jest, w myśl teorii dezintegracji, wyrazem wysyłania cząstek α przez same ciała macierzyste, lub—jak w przypadku toru—częściowo przez produkty ThX poprzedzające. W przypadku aktynu rzecz przedstawia się odmiennie. Aktywność aktynu, po usunięciu produktu AcX i innych, wynosiła czasem zaledwie 5% wartości końcowej. Mimo wielokrotnych strąceń amoniakiem nie mogłem wprowadzić tej aktywności zupełnie usunąć^{*)}. Pomiedzy jednak ostatnim strąceniem a pierwszym pomiarem upływała zawsze przynajmniej 1 godzina czasu, a więc pewna ilość AcX i produktów w chwili pomiaru musiała być zawsze obecna. Ze względu na to już wtedy przypuściłem, że, gdyby istotnie wszystkie produkty usunięto, sam aktyn okazałby się nieaktywny. Z punktu widzenia teorii dezintegracji fakt ten oznaczałby, że przemiana samego aktynu w produkt następny jest bezpromienista.

Późniejsze doświadczenia Hahn³⁵⁾ hipotezę tę zupełnie potwierdziły. Dalsze pomiary i badania stwierdziły²²⁾ wyraźnie, że emanacja powstaje

*) Pochodziła ona, jak się później okazało, od reszty pozostałego radioaktynu.

dopiero z AcX. Badania względnej zdolności emanacyjnej roztworu AcX i aktynu wykazały, że:

- 1) Aktyn po wydzieleniu AcX prawie wcale emanacji nie wydaje;
- 2) że zdolność emanacyjna AcX zamiera z czasem z tą samą prędkością i według tego samego prawa jak aktywność.

Okazuje się przeto, że emanacja pojawia się u aktynu dopiero wtedy, gdy AcX jest obecny, a jej ilość jest do ilości AcX proporcjonalna. Te fakty stanowią dostateczny dowód tego, że emanacja jest pochodną AcX i dopiero z tego produktu powstaje.

Radioaktyn.

Metody chemiczne wydzielenia.

Doświadczenia, wykonywane nad aktywnością toru, wykazały, że przemiana toru na ThX nie jest bezpośrednia, jak to początkowo Rutherford i Soddy przypuszczali, ale że można stwierdzić istnienie nawet trzech produktów pośrednich, t. zw. masotoru 1 i 2 i radiotoru. Opierając się na analogii szeregów toru i aktynu, rozpoczął Hahn³³⁾ w laboratorium Rutherforda w Montreal badania nad tem, czy nie możnaby wykazać istnienia produktu pośredniego między aktynem i AcX. Badania te doprowadziły do wykrycia substancji, którą przez analogię Hahn nazwał radioaktynem. Doświadczenia robione były zarówno z aktynem Debierna³⁴⁾, jak z emanem Giesela i dały w obu przypadkach wyniki identyczne.

Rozpuszczając preparat aktynu w kwasie solnym, Hahn zauważył, że roztwór był mętny, a pewna mała ilość substancji pozostawała nierozpuszczona. Gdy po oddzieleniu tej części nierozpuszczonej badano elektroskopem roztwór odparowany do suchości, okazało się, że aktywność jego wzrosła z czasem. Krzywe aktywności, choć nie regularne, wykluczały możliwość przyjęcia tworzenia się AcX. Podobnie część nierozpuszczona zachowywała się odmiennie niż AcX.

Dalsze badania wykazały z pewnością, że część nierozpuszczalna w kwasie solnym zawiera nowe ciało promieniotwórcze i to właśnie ciało nazwał Hahn radioaktynem. Jeśli produkt ten zawierał większą ilość AcX, aktywność jego pozostawała przez pewien czas niezmienną, dalej zaś zaczynała opadać początkowo powoli, wreszcie regularnie według krzywej wykładniczej do połowy w 20 dni. Gdy aktynu X nie było początkowo razem z tą substancją, aktywność najpierw wzrastała, a po osiągnięciu maximum w 2—3 tygodniach, opadała dalej z czasem według identycznej, jak poprzednio, krzywej.

Ta metoda oddzielenia przez odsączenie od roztworu w kwasie solnym

okazała się jednak mało praktyczna, albowiem dawała zwyczajnie mieszaninę radioaktywnu i produktów pochodnych. Hahn potrafił wypracować³⁹⁾ inne metody, dające radioaktywność prawie wolną od innych produktów.

Pierwsza z tych metod polega na oddzieleniu AcX zwykłym sposobem, t. j. przez kilkakrotne strącenie amoniakiem. Osad utworzony rozpuszcza Hahn w kwasie solnym i dodaje małą ilość tiosiarczanu sodowego. Ten rozkłada się pod wpływem kwasu i wydziela małe ilości siarki bezpostaciowej. Siarkę tę zebraną na filtrze Hahn spala z nim razem i otrzymuje w ten sposób małą ilość substancji, okazującej bardzo silną aktywność a złożonej przede wszystkim z toru i z ziem rzadkich z siarką porwanych. Aktywność tej substancji wzrasta z czasem do podwójnej prawie wartości, poczem opada według prawa wykładniczego do połowy w 20 dniach.

Druga metoda, polecana przez Hahna, polega na dodawaniu do roztworu aktywnu w kwasie solnym amoniaku w ilości nie dostatecznej do zupełnego strącenia. Osad rozpuszcza się następnie w kwasie solnym i traktuje ponownie amoniakiem w niedostatecznej ilości. Powtarzając to kilkakrotnie, możemy w ten sposób przenieść całą ilość AcX i aktywnu do roztworu, a pozostawić w osadzie tylko radioaktywność.

Levin stwierdził⁴⁴⁾ prócz tego, że można wydzielić radioaktywność przy pomocy węgla. Gotując roztwór aktywnu zakwaszony kwasem azotowym z węglem zwierzęcym i filtrując następnie ten węgiel, porywa się z nim większą część AcX i dużą ilość radioaktywność.

Dokładnymi pomiarami zmiany aktywności radioaktywnu znalazł Hahn wartość stałej transformacji $\lambda = 0,413 \cdot 10^{-6} \text{ sek}^{-1}$, skąd czas przemiany do połowy oblicza się na 19,5 dnia.

Na parę lat jeszcze przed doświadczeniami Hahna otrzymał Debiernie³⁾ wydzieloną ze swych preparatów substancję, która właściwie była radioaktywność, jakkolwiek w tym czasie pojmowano i tłumaczono sobie zjawiska promieniotwórcze zupełnie odmiennie. Jak wspomnieliśmy wyżej, Debiernie przypisywał aktywności własność indukowania aktywności w innych ciałach. I tak otrzymał on aktywny chlorek barowy przez to, że trzymał go rozpuszczonym przez pewien czas w roztworze zawierającym aktywność. Jeszcze wyraźniejszy rezultat otrzymał Debiernie, strącając siarczan barowy z roztworu zawierającego aktywność. Aktywność, jak powiada Debiernie, został porwany z tworzącym się osadem, a po przeprowadzeniu produktów w chlorki i oddzieleniu aktywnu amoniakiem otrzymał chlorek barowy bardzo silnie aktywny. Ten „naaktywowany“ chlorek barowy zachował swą aktywność przy wszystkich przemianach chemicznych. Frakcjonował się podobnie jak bar, zawierający rad. Z roztworów wodnych, lub zakwaszonych kwasem solnym wykryszalowany chlorek był zawsze silnie aktywny, niż pozostający w roztworze. Tą drogą potrafił Debiernie aktywność tak skoncentrować, że otrzy-

mał preparaty chlorku o aktywności mierzącej się na tysiące jednostek uranowych. Aktywność tych preparatów, które według badań Demarcay'a nie zawierały nawet śladów radu, zmniejszała się w czasie, tak że po trzech tygodniach wynosiła około trzeciej części początkowej wartości.

Kiedy substancja AcX była już znana, Debiernie³⁰⁾ przypuszczał, że ta sztuczna aktywność nadana barowi pochodziła od porwanego AcX. Późniejsze pomiary Giesela wykazały⁴⁰⁾, że przez to sztuczne strącenia porywa się nie AcX ale radioaktywność.

W doświadczeniach powyższych Debiernie'a pozostaje wszelako jedno zjawisko trudne do wytłumaczenia. Debiernie zwraca mianowicie uwagę na to, że siła aktywności sztucznie naaktywowanego baru zależała od czasu, przez który bar był w roztworze razem z aktywność i miała być tem większa, im ten czas był dłuższy. Jeśli przyjmujemy jednak za przyczynę aktywności baru obecność radioaktywnu, to zależność między siłą aktywności baru a czasem, który spędził w roztworze bar razem z aktywność, jest niezrozumiała. Wyjaśnienie tego faktu mogłyby podać tylko dalsze doświadczenia.

Podobne doświadczenia wykonywał i Giesel¹⁰⁾. Do roztworu „ciała emanującego“ dodawał on soli barowej i strącał bar kwasem siarkowym, przy czem okazywało się, że siarczan baru był zawsze silnie aktywny niż pozostałe ziemie szlachetne. Aktywność dała się łatwo koncentrować przez częściową krystalizację oczyszczonego bromku barowego. Sól ta odwodniona silnie fluoryzowała; spektroskopowe badania Rungego i Prechta nie wykazały również żadnych śladów zanieczyszczeń radem. Podobnie jak Debiernie, przypuszczał²⁵⁾ i Giesel, że aktywność tego baru pochodzi od AcX, ponieważ okazało się, że aktywność ta z biegiem czasu malała. Wykonane dopiero później⁴⁹⁾ dokładne pomiary zmiany aktywności z czasem dały okres zamierania około 19 dni, co wskazywało niezbicie, że aktywność tego baru pochodziła od radioaktywnu.

Na podstawie szeregu oddzieleń chemicznych Giesel dochodzi do przekonania⁴⁹⁾, że radioaktywność należy do ziem alkalicznych, lub jest im bliska. Zwraca dalej uwagę na to, że jest możliwe, iż wydzielenie radioaktywnu przez siarkę w metodzie Hahna polega w gruncie rzeczy na strąceniu małych ilości kwasu siarkowego, któryby z siarki obok niej powstawał.

Dokładne badania okazały, że AcX przez kwas siarkowy wcale⁴⁹⁾ się nie strąca, tak że strącenie kwasem siarkowym można uważać zarazem za metodę oddzielenia aktywnu X od radioaktywnu.

Stosunek radioaktywnu do innych produktów aktywnu.

Dalsze doświadczenia prowadzone przez Hahna³⁹⁾ ustaliły związek radioaktywnu do innych produktów rodziny aktywnu.

Jak wspomnieliśmy wyżej, α — aktywność czystego produktu osiągała maximum po 2—3 tygodniach. Jeśli na krótko przed tym czasem rozpuszczono preparat w kwasie azotowym i dodano następnie amoniaku w nadmiarze, strącał się małe osad. Aktywność tego osadu i odparowanego amoniakalnego filtratu zachowywała się z czasem zupełnie odmiennie. Aktywność osadu wzrastała, zupełnie podobnie jak aktywność radioaktywnu świeżo oddzielonego, podczas gdy aktywność filtratu malała z czasem według prawa wykładniczego do połowy w około 11 dniach, co wskazywało na niezaprzeczoną obecność AcX.

Pojawienie się AcX w radioaktywnie, początkowo zupełnie od AcX wolnym, stanowi najlepszy dowód, że AcX z radioaktywnu powstaje, że więc radioaktywn w aktywn X się przemienia. To przypuszczenie potwierdza także i fakt, że aktywność radioaktywnu dawniejszego zaczyna od razu ponownie wzrastać, gdy tylko AcX, oddzielimy i zachowuje się tak samo, jak u radioaktywnu świeżo przygotowanego. Ten wzrost aktywności spowodowany jest wytworzeniem substancji AcX powstającej z radioaktywnu. Po osiągnięciu maximum, aktywność spada według prawa wykładniczego z peryodem 19·5 dnia.

Fakt ten, że AcX z radioaktywnu dopiero powstaje, stwierdził też Hahn i przez analizę natury promieni α obu produktów, jak to zobaczymy poniżej.

Znając związek AcX i radioaktywnu i stałe ich przemiany, można wyprowadzić w myśl ogólnej teorii⁵⁰⁾ przemian promieniotwórczych krzywe zmiany ich aktywności w czasie. Te krzywe będą inne dla promieni α i β .

Oznaczając przez P i Q ilości atomów radioaktywnu i AcX wytworzonych w dowolnym czasie t , a przez λ_1 i λ_2 ich stałe przemiany, mamy

$$P = n e^{-\lambda_1 t}$$

$$Q = \frac{n \lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} (e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda_1 t}).$$

Aktywność, mierzona promieniami α , pochodzi od przemian radioaktywnu, aktywnu X, emanacji i aktywnu B. Ze względu na wielką szybkość przemiany emanacji i produktów aktywnego depozytu można przypuścić, że te dwie końcowe przemiany idą współcześnie z przemianą AcX. Wtedy aktywność mieszaniny w czasie dowolnym dana będzie przez równanie

$$J_t = \lambda_1 P + K \lambda_2 Q$$

lub wyrażona w procentach aktywności początkowej będzie:

*) Patrz Rutherford, Radioactivity Sec. Edit. p. 330 i nast.

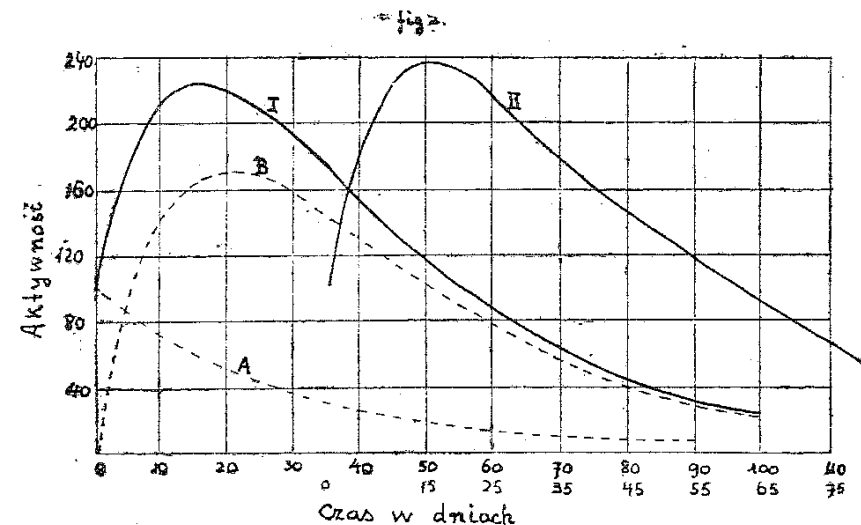
$$J_t = 100 \left\{ e^{-\lambda_1 t} + K \frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} (e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda_1 t}) \right\}.$$

Stała K w tych równaniach wyraża stosunek jonizacji, wytworzonej przez AcX, emanację i AcB do jonizacji, wytworzonej przez radioaktywn.

Gdyby promienie α każdej z tych 4-ch substancji posiadały tę samą siłę jonizacyjną, wtedy byłoby $K=3$. Że jednak każda z tych substancji ma inną doniosłość rzutu cząstek α , jak to wykazał Hahn⁵⁵⁾, przeto i ich siła jonizacyjna, względem tych doniosłości proporcjonalna (Boltwood), będzie różna. Jako wartości doniosłości rzutu dla produktów aktywnu przyjmuje Hahn 4·8 (radioaktywn), 6·55 cm. (AcX), 5·8 cm. (emanacja), 5·5 (AcB) skąd oblicza stałą K według definicji

$$K = \frac{6 \cdot 55 + 5 \cdot 8 + 5 \cdot 5}{4 \cdot 8} = 3 \cdot 72.$$

Znając wartość stałej K , możemy wyrysować krzywą teoretyczną aktywności radioaktywnu wraz z produktami. Krzywa ta przedstawiona jest na Fig. 2 jako krzywa I. Krzywa II, wzięta wprost z doświadczenia, zgadza się z nią bardzo



dobrze. Czas, po którym występuje maximum, jest u obu ten sam. Tylko wartość absolutna maximum większa w krzywej doświadczalnej niż teoretycznej wskazuje, że wartość $K=3 \cdot 72$ jest za mała.

Istotnie, doświadczenia późniejsze, wykonane przez Brousona⁵⁶⁾, Geigera⁷⁸⁾, o czym poniżej powiemy obszerniej, dały cokolwiek inne war-

tości na doniosłości rzutu cząstek α i ustaliły jeszcze istnienie jednego α produktu pomiędzy emanacją a AcB. Według liczb podanych przez Geigera⁸²⁾ obliczona stała K w powyższym równaniu Hahna miałaby wartość

$$K = \frac{4 \cdot 17 + 5 \cdot 40 + 6 \cdot 16 + 5 \cdot 12}{4 \cdot 55} = 4 \cdot 57$$

a więc wartość istotnie większą, niż przyjęto dla krzywej I Fig. 2-ej.

Krzywą teoretyczną możemy rozłożyć łatwo na jej składowe. Kropkowana krzywa (A) przedstawia zanikanie wykładnicze samego radioaktywnu (do połowy w 19.5 dniach). Różnica rzędnych krzywej teoretycznej (I-ej) i krzywej (A) daje krzywą (B), przedstawiającą aktywność AcX i produktów pochodnych w dowolnym czasie.

Ta zgodność teorii z doświadczeniem stanowi dalszy dowód na to, że AcX z radioaktywnu powstaje.

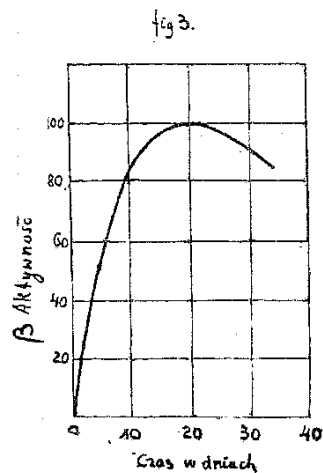
Krzywe aktywności, mierzonej promieniami β , będą odmienne, zwłaszcza gdy uwzględnimy tylko bardziej przenikliwe promienie. Tylko bowiem AcA i AcC wysyłają takie promienie, AcX daje tylko promienie α , a radioaktywn⁸³⁾ promienie β nadzwyczaj łatwo pochłaniałne. Odciawszy te ostatnie przez wstawienie odpowiedniej grubości blaszki aluminiowej, otrzymujemy jonizację sprawioną promieniami β , pochodzącą tylko od AcA i AcC. Ze względu na szybkość przemiany obu tych produktów możemy założyć ich ilość w każdej chwili proporcjonalną do ilości AcX. Wtedy aktywność, mierzona promieniami β , w dowolnym czasie będzie proporcjonalna do

$$Q = \frac{n\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} (e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda_1 t})$$

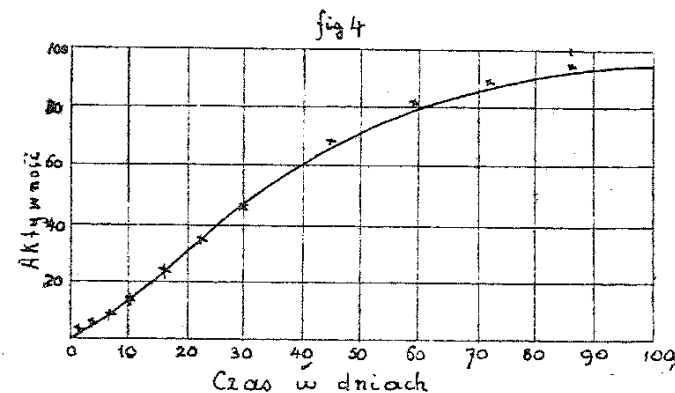
przyczem λ_1 i λ_2 przedstawiają stałe transformacji radioaktywnu i AcX. Fig. 3 daje krzywą teoretyczną β aktywności radioaktywnu, według tego równania obrachowaną.

Punkty znaczone krzyżykami, wzięte z doświadczenia, wskazują doskonałą zgodność teorii z doświadczeniem. Aktywność wychodzi od zera dochodzi do maximum po dniach około 20, poczem dopiero spada wy-

kładniczo do połowy w 19.5 dniach, podobnie jak aktywność, mierzona promieniami α .



W doświadczeniach swych nad AcX otrzymałem kilkakrotnie, po zwykłym usunięciu AcX, aktywność preparatu, wynoszącą zaledwie od 3 do 5% całkowitej aktywności. Na tej podstawie wyraziłem przypuszczenie, że aktywn sam jest nieaktywny. Levin⁸⁴⁾, który moje doświadczenia powtarzał, znalazł istotnie, po oddzieleniu AcX, aktywność nie przenoszącą 3%, ale tylko wówczas, gdy ją zmierzono promieniami β . Aktywność α znajdował się sięgającą aż do około 28%. Pochodziła ona z radioaktywnu. Wskazywałoby to, że w doświadczeniach mych część przynajmniej radioaktywnu była usunięta — zdaje się — że przy rozpuszczaniu w kwasie solnym. Stosując szereg chemicznych oddzieleń przez strącanie amoniakiem i tiosiarczanem sodu, Hahn³⁷⁾ wydzielił z preparatu zarówno AcX jak i radioaktywn. Aktywn nie miał wtedy α aktywności większej jak 2.5%, co potwierdziło zupełnie przypuszczenie, że aktywn sam promieni nie wydaje.



Aktywność takiego aktywnu, uwolnionego od produktów następnych, wzrastała z czasem, a wartości znalezione doświadczalnie przedstawione są na fig. 4. Krzywa narysowana jest teoretyczna, a równanie jej możemy znaleźć łatwo z teorii ogólnej. Dla uproszczenia przyjmijmy za Hahnem³⁷⁾:

1) że przemiana bezpromienista aktywnu na radioaktywn odbywa się tak powoli, że liczba atomów aktywnu w czasie samego doświadczenia pozostaje niezmienną;

2) że przemiana emanacji i produktów aktywnego depozytu jest tak szybka, że możemy przyjąć, iż odbywa się współcześnie z przemianą AcX.

Przyjmując te zupełnie usprawiedliwione założenia, otrzymujemy krzywą wzrostu aktywności aktywnu, jako uzupełniającą do krzywej spadku aktywności mieszaniny radioaktywnu, AcX i jego produktów w równowadze. Krzywa ta dana będzie przez równanie

$$J_t = 100 \left\{ 1 - \frac{e^{-\lambda_1 t} + \frac{K}{\lambda_1 - \lambda_2} (\lambda_2 e^{-\lambda_1 t} - \lambda_1 e^{-\lambda_2 t})}{1 + K} \right\},$$

w którym J_t , λ_1 , λ_2 i K mają te same znaczenia, jak w poprzednich równaniach. Zgodność teorii z doświadczeniem jest, jak widać, doskonała: punkty znalezione z pomiarów leżą prawie na samej krzywej.

Na podstawie tej zgodności i stwierdzenia teorii przez doświadczenie możemy uważać za udowodnioną prawdziwość założeń, które zrobiliśmy, a więc że:

- 1) przemiana aktynu samego jest bezpromienista;
- 2) że produktem tej przemiany jest radioaktyn;
- 3) że AcX powstaje nie bezpośrednio z aktynu, lecz z radioaktynu.

Emanacja.

Własności ogólne.

Jak widzieliśmy, z AcX powstaje emanacja. Po raz pierwszy zaobserwował ją Giesel⁴⁾ na swych preparatach i podał kilka interesujących zjawisk fosforescencji. Giesel⁵⁾ zauważył dalej, że daje ona życie silnej aktywności wzbudzonej i zdaje się wędrować w polu elektrycznym do elektrody ujemnej. Wkrótce potem zauważył jej istnienie i Debiérne⁶⁾ na swych preparatach aktynu. Już na samym początku badań zwrócił on uwagę na fakt, że emanacja ta musi się przemieniać nadzwyczaj szybko już w niewielu sekundach. W rok później⁹⁾ podał Debiérne rezultaty dokładnych pomiarów stałej zamierania emanacji.

Doświadczenia te wykonywał w ten sposób, że ponad stałym preparatem przedmuchiwał silny strumień powietrza, który unosił emanację do kondensatorów walcowych. W kondensatorach mierzono sprawioną przez emanację jonizację w różnych odstępach od ciała, skąd przy znanej szybkości strumienia powietrza można było wyznaczyć czas, który upłynął od chwili wyjścia emanacji od aktynu lub poprzedniego kondensatora.

W ten sposób dokonane pomiary wykazały, że siła jonizacyjna emanacji zanika z czasem według prawa wykładniczego, opadając do połowy w ciągu 3·9 sek.; skąd stała transformacji $\lambda = 1·8 \cdot 10^{-1} \text{ sek}^{-1}$. Ten okres, dla emanacji charakterystyczny, został potwierdzony i przez późniejsze badania Hahna i Sackura²³⁾.

W jednym z późniejszych doświadczeń nad emanacją aktynu Giesel⁴⁹⁾ natrafił na fakt, zdający się wskazywać, że prócz tej krótkotrwałej emanacji powstaje z aktynu i druga emanacja o długim okresie. Emanacja ta, jak utrzymuje Giesel, nie pochodziła w każdym razie od zanieczyszczeń preparatu radem. Wiadomo, że po wprowadzeniu emanacji radowej do elektro-

skopu, aktywność w pierwszych kilku godzinach wzrasta z powodu wytworzenia się produktów aktywnego depozytu, potem dopiero spada z charakterystyczną prędkością. W przypadku badanym Giesel zauważył wzrost aktywności, trwający 2—3 dni, aż do dwukrotnej prawie wartości, poczem aktywność pozostawała stałą przez przeciąg 2—3 tygodni. Po przewietrzeniu aparatu, aktywność w kilkunastu godzinach zniknęła zupełnie. Ponieważ aparat oddzielony był od preparatu filrami z waty, można wykluczyć jakiegokolwiek zawiesiny proszkowe. Wydaje się więc jakby tu była druga emanacja aktynu o długim bardzo okresie. Prócz tych jednych doświadczeń jednak żadne inne doświadczenia, ani bezpośrednie, ani pośrednie istnienia takiej emanacji nie wskazały, tak że tymczasem rzecz tę należy przyjąć z odpowiednią rezerwą.

Heveey⁸⁷⁾ wyznaczał dokładnie rozpuszczalność emanacji aktynu w różnych cieczach. Zasada metody była taka, że prąd powietrza, niosący emanację aktynu, przechodził przez płótkę, zawierającą ciecz badaną, a następnie przez komorę jonizacyjną. Zmniejszenie aktywności zaobserwowane w tej komorze dawało miarę pochłoniętej ilości emanacji. Tą drogą można było przy odpowiednim uwzględnieniu dyfuzji emanacji w cieczy badanej wyznaczać względne rozpuszczalności emanacji w różnych cieczach, a zarazem ustalić wartość współczynnika rozdziału w cieczy i gazie.

Szereg badań, bardzo dokładnie przeprowadzonych, dał rezultaty przedstawione w tablicy I-ej, która podaje wartości rozpuszczalności emanacji w różnych cieczach, przyczem rozpuszczalność emanacji w wodzie przyjęto = 1.

TABLICA I.

Ciecz	Rozpuszczalność emanacji
Woda	1
Nasycony wodny roztwór KCl	0·9
Stężony H ₂ SO ₄	0·95
Alkohol etylowy	1·1
amyłowy	1·6
Benzoidched	1·7
Benzol, tolnol	1·8
Nafta	1·9
Dwusiareczek węgla	2·1

Rzecz charakterystyczna, że ciecze te, uporządkowane według swych zdolności rozpuszczania emanacji radu i toru, następują bez wyjątku w tym samym po sobie porządku. Wykazuje to blizkie powinowactwo chemiczne

tych trzech emanacji; ponieważ zaś emanacja radu należy do grupy t. zw. gazów szlachetnych, więc i emanację aktynu i toru do tej grupy należałoby zaliczyć.

Spółczynnik rozdziału (Verteilungskoeffizient) emanacji aktynu między wodę i powietrze znalazł H e v e r s e y = 2, a więc nieporównanie większy niż współczynnik emanacji radowej, który jest tylko 0.3.

Emanacja aktynu, jak się okazało, podobnie jak i radowa, jest bardzo silnie pochłaniana przez węgiel kokosowy. Już w zwyczajnych temperaturach współczynnik rozdziału wynosi 20.

Szereg interesujących badań nad własnościami fizycznymi emanacji aktynu dokonał Goldstein⁸⁾ jeszcze w r. 1903-im. Goldstein przekonał się, że blenda cynkowa, świecąca w powietrzu pod wpływem emanacji aktynu co najwyżej z odległości 2 cm. od preparatu, świeciła bardzo intensywnie w próżni, nawet z odległości półmetrowej. W naczyniu, wypełnionem powietrzem, największe natężenie fosforescencji blendy było tem silniejsze, im bliżej była preparatu i im mniejsza była gęstość gazu. Fakt ten tłumaczy się wyraźnie przez szybkie zamieranie emanacji, która w powietrzu wolno dyfunduje, a tylko w próżnej przestrzeni jest w stanie przebyć dłuższą drogę, zanim się przemieni na nowy produkt. Na fakt analogiczny zwrócił uwagę już poprzednio D e b i e r n e⁹⁾, który wykazał, że aktywny depozyt aktynu tylko w próżni rozkłada się równomiernie, a w naczyniu wypełnionem powietrzem silniej występuje na przedmiotach bliższych preparatu niż na dalszych.

Goldstein⁸⁾ wykazał dalej, że możemy przypisać emanacji aktynu pewne ciśnienie, mianowicie ciśnienie, zmniejszające się z rosnącą objętością. Okazał, że świecenie blendy słabło zawsze, gdy połączono wypróżnione naczynie, zawierające preparat aktynu i blendę świecąca pod wpływem emanacji przezeń wydanej, ze zbiornikiem pompy, w którym panowało toż samo rozrzedzenie, co i w naczyniu. Emanacja rozchodzi się obecnie po większej objętości, a fosforescencja staje się słabsza. Gdy zmniejszano znów objętość emanacji przez odcięcie zbiornika, po krótkim czasie jasność blendy wznagała się.

Gdy oddzielono preparat od blendy przez zamknięcie odpowiednio umieszczonego kurka, występował po 2 sekundach mniej więcej nagły spadek jasności, po 10 sekundach świeciła blenda już tylko minimalnie, a po półminucie była zupełnie ciemna. Po ponownem otwarciu kurka zaświecała na nowo i doświadczenie to można było dowolnie powtarzać. Na tej podstawie Goldstein nie chciał nawet uważać emanacji za gaz istotnie odrębny, gdyż w tym przypadku przestrzeń, gdzie była blenda, szybko powinna się tym gazem nasycić, co by powinno przeszkodzić wejściu nowej emanacji. Jeśli jednak uwzględnimy, że emanacja przemienia się zazwyczaj szybko na pro-

dukty aktywnego depozytu, które osiadają na ścianach jako ciała stałe, to zarzut ten oczywiście zupełnie upada.

Skroplenie emanacji.

Pierwsze próby skroplenia emanacji aktynu zawdzięczamy Goldsteinowi. Do rury szklanej przylutowano trzy rurki, tak że razem tworzyły rurę kształtu Π . Jedna z rurek, powiedzmy pierwsza, zawierała preparat, środkowa służyła za chłodnicę, w trzeciej umieszczono blendę. Ze wszystkich usunięto zupełnie powietrze. Gdy rurę środkową zanurzono do skroplonego powietrza, można było spostrzedz, że silne świecenie blendy znacznie słabło, co wskazywało, że emanacja przeszła przeważnie do rury środkowej. Później, gdy odcięto połączenie obu rur dalszych od preparatu i usunięto ciekłe powietrze, nie można było zaobserwować wzmożenia świecenia blendy; jest to łatwo zrozumiałe ze względu na krótkość życia emanacji aktynu. Z tego samego powodu nie mógł także Goldstein otrzymać spostrzegalnej ilości emanacji gazowej w rurkach spektralnych, w których przez całe godziny poprzednio koncentrowano emanację przez studzenie zzewnątrz ciekłym powietrzem.

Silne fosforyzowanie ściany rurki szklanej, którą studzono z zewnątrz ciekłym powietrzem, wskazuje z drugiej strony, że tam emanacja istotnie się skrapla. To świecenie występowało nie w częściach najzimniejszych, zanurzonych w ciekłym powietrzu, ale w strefie, leżącej ponad poziomem ciekłego powietrza. Szerokość tej świecącej strefy zmieniała się z szerokością rury, a natężenie fosforescencji było tem większe, im rurka węższa. Jeśli obniżymy poziom płynnego powietrza, to obniża się po kilku sekundach i strefa świecąca w ten sposób, że znów leży blisko poziomu powietrza. Przy wzniesieniu poziomu świecąca strefa gaśnie, a odpowiednio wyższa zaświeca.

Z doświadczeń tych wynika, że emanacja skrapla się w temperaturze wyższej niż temperatura ciekłego powietrza. Skroplona pobudza ścianę szklaną do silnej fluorescencji. Ze względu na szybkie zamieranie emanacji znikłoby rychło to świecenie, gdyby świeżo doprowadzana emanacja znowuż się nie skraplała. Do najzimniejszych części rury emanacja dostać się nie może, albowiem skrapla się już wyżej. Przy zmianie poziomu ciekłego powietrza dawna strefa musi szybko zgasnąć, a zapali się nowa. Ze względu na szybkie przetwarzanie się emanacji można powiedzieć, że właściwie nie skroplona, lecz skraplająca się emanacja pobudza szkło do fosforescencji.

Ale wiemy dalej, że z emanacji powstają produkty aktywnego depozytu. Istotnie okazało się, że w tych miejscach, gdzie emanacja się skraplała, aktywność wzbudzona nagromadzała się w większych ilościach. W jednym z doświadczeń Goldstein wsypał blendę cynkową do rury, w której emanację przez poprzednie studzenie koncentrowano, i która po usunięciu ciekłego po-

wietrza była już zupełnie ciemna. Blenda zaświecała jasno i świeciła całymi godzinami i to najsilniej w tych miejscach, w których była w czasie studzenia świecąca strefa na ścianie rury. I ten fakt potwierdza przypuszczenie, że emanacja istotnie uległa skropleniu.

Z drugiej strony zyskujemy tą drogą, a więc przez skroplenie emanacji, metodę silnego koncentrowania aktywności wzbudzonej. Metodą tą posługiwali się np. Hahn i Sackur²²⁾ w badaniach swych nad aktywnym depozytem aktynu.

Zatrzymałem się trochę dłużej nad temi doświadczeniami Goldsteina, albowiem jest rzeczą bardzo charakterystyczną, że choć robione były środkami bardzo pierwotnymi, jeszcze w czasie, gdy zjawiska promieniotwórcze tłumaczono odmiennie, doprowadziły do rezultatów bardzo interesujących. Późniejsze dokładne doświadczenia tylko udokładniały te wyniki, a teoria uporządkowała je i w wielu miejscach wyjaśniła.

Pierwsze dokładniejsze badania nad skropleniem emanacji, które dały już pewne określenia temperatur skroplenia, wykonał Henriot⁵²⁾. Henriot skraplał emanację, posługując się dwiema metodami, mianowicie oziębiając albo ją samą, albo emanację razem z preparatem.

W pierwszej seryi doświadczeń emanacja z silnego preparatu aktynu dostawała się przez rurkę szklaną do chłodnicy, składającej się z szeregu wąziutkich rurek miedzianych, zanurzonych w kąpeli z eteru, który studzono powietrzem ciekłym. Po przejściu przez chłodnicę, emanacja wchodziła do drugiej szklanej rury, oddzielonej kurkiem od naczynia, zawierającego w sobie ekran z siarczku cynku, którego iskrzenia obserwowano mikroskopem. Temperaturę kąpeli, w której zanurzona była chłodnia, określano z dokładnością przy pomocy ogniwa termoelektrycznego. Z całego aparatu powietrze zostało wypompowane z możliwie największą starannością.

Doświadczenia okazały, że jak długo chłodnica utrzymywana była w temperaturze niższej niż średnio -143° , na ekranie powstawały tylko bardzo nieliczne iskrzenia. W chwili, gdy temperatura podnosiła się powyżej -143° (w różnych doświadczeniach ta przejściowa temperatura była cokolwiek różna, zawsze jednak w granicach między -140° a -149°), obraz zmieniał się wyraźnie. W chwili otwarcia kurka oddzielającego ekran, ekran przedstawiał się jakby pokryty setkami iskrzeń. Choć to przejście było najzupełniej ostre i wyraźne, przecież nie można przyjąć tej temperatury jako temperatury całkowitego skroplenia, albowiem w miarę podniesienia dalszego temperatury luminescencya ekranu stawała się coraz jaśniejsza, aż do temperatury -100° , co wskazuje, że w tych podnoszących się temperaturach coraz mniej emanacji pozostaje skroplonej. Można więc powiedzieć, że emanacja staje się lotna dopiero powyżej -143° , że jednak, aż do -100° pewna jej część pozostaje jeszcze skroplona.

W drugiej seryi doświadczeń Henriot mierzył ilość całkowitą emanacji, zawartą w kolumnie powietrza ponad preparatem aktynu umieszczanym w różnych temperaturach, która powinna być

$$= \sqrt{\frac{D}{\lambda}} p_0,$$

gdzie D jest współczynnikiem dyfuzji, λ stałą transformacji emanacji, a p_0 ciśnieniem częściowem emanacji nad samym preparatem. Ilość tę w różnych temperaturach można było wprost znaleźć przez wpędzenie silnym strumieniem powietrza całej kolumny powietrza z nad preparatu aktynu do komory jonizacyjnej. Doświadczenia okazały zwiększanie się tej ilości od -140° aż do $+120^{\circ}$. Trzeba wszelako podkreślić, że jako sposób określenia lotności emanacji nie mogą dać te doświadczenia rezultatów dokładnych. Jest tu bowiem w niższych temperaturach superpozycya dwóch zjawisk: ulatniania się emanacji i zmiany siły emanacyjnej preparatu.

Znacznie dokładniejsze wyniki nad skropleniem emanacji aktynu otrzymał Kinoshita w laboratorium Rutherforda. Sposób dokonania doświadczeń polegał na zastosowaniu metody pomiarów jonizacji, był więc podobny do metody, którą posługiwał się Rutherford przy skropleniu emanacji radu. Emanację z nad silnego preparatu, zawierającego 1.5 g. aktynu o aktywności około 6000 ur., wprowadzał Kinoshita razem z powietrzem do chłodnicy miedzianej, zanurzonej w kąpeli studzonej ciekłym powietrzem. Po 15—20 sek., kiedy przyjęła temperaturę kąpeli, wprowadzał powietrze wraz z emanacją nieskroploną do komory jonizacyjnej, skąd przez zmierzenie prądu nasycenia można było łatwo wyrachować procent emanacji, który pozostał nieskroplony w danej temperaturze. Przez odpowiednią zmianę objętości aparatu można było śledzić i wpływ ciśnienia na ilość skroplonej emanacji.

Rezultaty podane są w tablicy II-ej:

TABLICA II.

Procent emanacji nieskroplonej	5%	25%	50%	75%	95%
ciśnienie 90 mm Hg	— 147.0	— 141.8	— 137.5	— 132.0	— 122.2
100 „	— 148.0	— 142.7	— 138.5	— 133.1	— 123.7
120 „	— 149.8	— 144.5	— 140.5	— 135.5	— 126.2
140 „	— 151.4	— 146.0	— 142.2	— 137.5	— 128.5
160 „	— 152.7	— 147.5	— 144.0	— 139.5	— 130.8
180 „	— 154.0	— 148.9	— 145.8	— 141.4	— 133.0
190 „	— 154.5	— 149.6	— 146.5	— 142.5	— 134.0
760 „		— 155.8	— 153.0	— 149.6	— 143.2

Jak widać z tej tablicy, zgodnie z jakościowymi doświadczeniami Heuriot'a, emanacja zaczyna być lotna dopiero w okolicy -120° , a w temperaturze około -149° skrapla się praktycznie cała. Zarówno temperatury początku lotności jak i skroplenia zupełnego zależą od ciśnienia, podobnie jak i temperatury pośrednie, w których tylko pewien procent emanacji jest skroplony, zmieniają się z ciśnieniem, zwłaszcza, gdy ono jest niewielkie. Zachowanie się emanacji aktywnu jest pod tym względem podobne, jak emanacji toru, która skrapla się w temperaturze o $2-3^{\circ}$ wyższej niż emanacja aktywnu, i której temperatury częściowego skroplenia zależą w podobny sposób od ciśnienia, jak i u emanacji aktywnu.

Spółczynnik dyfuzji emanacji aktywnu.

Widzieliśmy więc, że emanacja aktywnu zachowuje się jak gaz, który okazuje pewne ciśnienie, zmieniające się ze zmianą objętości lub temperatury w tym kierunku, jak tego wymaga prawo Boyle'a-Charles'a, gaz skraplający się w pewnych określonych temperaturach. Nasuwa się teraz ważne pytanie, jaka jest gęstość tego gazu i jaki ciężar cząsteczkowy.

Bezpośrednio rozstrzygnąć tego nie można, bo tej emanacji mamy zawsze tak mało. Ale i pośrednie dociekania nie doprowadziły do żadnych pewnych wyników.

Hahn i Ramsay zauważyli, że luminescencja blendy cynkowej pod wpływem emanacji aktywnu występuje szybciej i silniej, gdy blenda znajduje się nad preparatem niż pod preparatem. Ramsay^{*)} na tej podstawie przypuszczał, że emanacja byłaby gazem lżejszym od powietrza; przypuszczenie to jednak prowadziłoby do wniosków sprzecznych z teorią dezintegracji. Jakoż Debiérne⁴⁷⁾, który dokonywał doświadczeń znacznie dokładniej, nie mógł stwierdzić zjawiska zaobserwowanego przez Ramsay'a.

W przypadku emanacji radowej, zanim wyznaczono jej gęstość bezpośrednio, próbowano ją wyrachować z doświadczalnie wyznaczonych współczynników dyfuzji. Spółczynnik dyfuzji emanacji aktywnu był również przedmiotem licznych badań. Wyznaczenie go przedstawia pewne trudności ze względu na nadzwyczaj szybką przemianę tej emanacji. Pierwsze dokładniejsze badania w tym kierunku wykonał Debiérne⁴⁷⁾. Wychodził on z założenia, że emanacja aktywnu dyfundująca w powietrze w zamkniętym naczyniu, ochronionem zupełnie od jakichkolwiek prądów powietrza, może ze względu na swe krótkotrwałe życie, posunąć się tylko w kolumnie stosunkowo nie wysokiej ponad preparat aktywnu. Jeśli do równania dyfuzyjnego wprowadzimy zanikanie emanacji z czasem według znanej prędkości i znanej prawa, otrzy-

*) Ramsay: Comptes rendus du I-er Congrès international de radiologie, 1905, p. 119.

mujemy rozkład koncentracji emanacji w kolumnie ponad preparatem, wyrażony przez równanie

$$c = c_0 e^{-\frac{\lambda}{D} x},$$

gdzie c oznacza ilość emanacji w jednostce objętości w odstępnie x od preparatu, c_0 jej ilość w odległości $x=0$, a więc przy samym preparacie, λ stałą przemiany emanacji, D współczynnik dyfuzji w atmosferę gazu otaczającego. Zmierzywszy doświadczalnie $\frac{c}{c_0}$ dla danego x , otrzymujemy wartość $\frac{\lambda}{D}$, skąd wyrachowujemy współczynnik dyfuzji.

Wartość stosunku tego $\frac{c}{c_0}$ mierzyl Debiérne nie bezpośrednio przez pomiar jonizacji w różnych odstępach od preparatu, ale przez ilość aktywnego depozytu, złożonego w różnych wysokościach ponad preparatem. Oddzielne doświadczenia wykazały, że ilość aktywnego depozytu, złożonego na ścianach w danym poziomie, daje dokładną miarę koncentracji emanacji w tym poziomie, ale tylko wtedy, jeśli emanacja znajduje się między ścianami bardzo sobie blizkimi. Brał tedy pod uwagę dyfuzję emanacji między dwiema płytami ściśle równoległymi, odległymi od siebie zaledwie o 2 lub 4 milimetry, i obliczał stosunek jej koncentracji w różnych poziomach, mierząc, przy pomocy specjalnego urządzenia, jonizację wzbudzoną przez aktywny depozyt, złożony na wąziutkich paskach wewnętrznych ścian tych płyt, paskach, których odległość od preparatu była znana. Po wprowadzeniu poprawki ze względu na zamieranie aktywnego depozytu w ciągu samego doświadczenia, otrzymywał wprost stosunek koncentracji emanacji w różnych poziomach. Jako wartość średnią otrzymał zmniejszenie się ilości emanacji do połowy w odstępnie co 5.5 mm., skąd współczynnik dyfuzji do powietrza o ciśnieniu atmosferycznym i temperaturze 15° wypada $D = 0,112$.

Stosując prawo proporcjonalności odwrotnej do pierwiastków ciężarów cząsteczkowych, otrzymuje się przez porównanie ze współczynnikiem dyfuzji, np. kwasu węglowego do powietrza, ciężar atomowy emanacji aktywnu około 70.

Celem sprawdzenia, czy prawa dyfuzji, tyżące się gazów, uważanych w warunkach normalnych, można przenosić do dyfuzji emanacji, Bruhat⁶⁰⁾ dokonał szeregu pomiarów współczynnika dyfuzji emanacji do różnych gazów, w różnych temperaturach i pod różnymi ciśnieniami. Pomiaru robił Bruhat metodą identyczną z metodą Debiérne'a. W myśl teorii kinetycznej współczynnik dyfuzji powinien być wprost proporcjonalny do kwadratu tem-

peratury bezwzględnej, a odwrotnie proporcjonalny do ciśnienia, a zatem wyrażenie $\frac{pD}{T^2}$ powinno mieć dla dwóch gazów wartość stałą.

Rezultaty pomiarów współczynnika dyfuzji aktywności w różnych warunkach zestawione są w tablicy III-ej:

TABLICA III.

Ciśnienie w mm Hg	Temperatura w stop. Cels.	Współczynnik dyfuzji	$\frac{p \cdot D}{T^2}$
765	0°	0.095	9.8.10 ⁻³
764	0°	0.096	9.9
760	15°	0.112	10.2
367	15°	0.245	10.3
362	12°	0.224	10.0
287	11.5°	0.33	10.6
235	14°	0.343	9.9
209	13.5°	0.404	10.2
154	13.2°	0.61	9.9
127	16.3°	0.55	8.5
97	14.8°	0.93	10.8
715	16.1°	1.165	10
52	15°	1.62	10
36	16°	2.29	10
25	15°	3.65	10
9	12.3°	9.1	10

Jak widać z tej tablicy, stałość czynnika $\frac{pD}{T^2}$ jest — ogólnie biorąc — zupełnie dobra, co wykazuje stosowalność praw dyfuzji gazów w przypadku emanacji w badanym zakresie.

Współczynniki dyfuzji do CO₂ (0.077) i do wodoru (0.412), doświadczalnie znalezione, są również tej wielkości, jakiej możnaby oczekiwać według teorii.

Podobne pomiary, metodą zbliżoną, wykonywał też Russ^{(61), (64)} w laboratorium Rutherforda. Mierzył on współczynniki dyfuzji do różnych gazów i w różnych warunkach. Wartości, znalezione dla powietrza 0.118, bezwodnika węglowego 0.073, wodoru 0.33, dwutlenku siarki 0.062, są zgodne z wartościami, znalezionymi przez Bruhata. Iloczyn $p \cdot D$ okazał się rów-

niez stały. Wartości współczynników emanacji do różnych gazów, znalezione doświadczalnie, okazały się zgodne z wartościami, obliczonymi według prawa Grahama i znanego współczynnika dyfuzji względem powietrza. Nawet współczynnik dyfuzji do argonu, a więc gazu jednoatomowego, obliczony w ten sposób (0.084), okazał się zupełnie zgodny ze współczynnikiem, znalezionym doświadczalnie (0.087). Russ oznaczył również współczynnik dyfuzji emanacji toru do tych samych gazów i w tych samych warunkach.

Znalazł w ten sposób, że:

$$\frac{D \text{ emanacji aktywności w powietrze}}{D \text{ emanacji toru w powietrze}} = \frac{0,123}{0,103} = 1,19,$$

skąd według prawa Grahama

$$\frac{\text{Ciężar cząsteczkowy emanacji toru}}{\text{Ciężar cząsteczkowy emanacji aktywności}} = 1,19^2 = 1,42,$$

stąd ciężar cząsteczkowy emanacji aktywności wypadłby około 150.

Obliczenie tedy ciężaru cząsteczkowego emanacji aktywności prowadzi do wartości mniejszych, niż moglibyśmy oczekiwać, jakkolwiek doświadczenia zwłaszcza Bruhata i Russa zdają się potwierdzać stosowalność praw, na których podstawie je wyprowadzono. Z drugiej strony, jakkolwiek nic nie wiemy o miejscu aktywności w układzie Mendelejewa, przecież, w myśl teorii Rutherforda o identyczności cząstek α z atomami helu i z uwzględnieniem faktów, że inne ciała promieniotwórcze mają ciężary atomowe powyżej 200—możemy przypuszczać, że ciężar atomowy emanacji aktywności jest w istocie znacznie wyższy. Przypomnieć tu należy fakt, że obliczenia ciężaru cząsteczkowego emanacji radowej z jej współczynników dyfuzji dały wartości znacznie mniejsze od oczekiwanych przez teorię, podczas kiedy bezpośrednie pomiary jej gęstości, wykonane przez Ramsaya i Debierna, dały wartości zupełnie z teorią zgodne.

Aktywny depozyt aktywności.

Rozkład cząstek aktywnego depozytu w polu elektrycznym.

Jak widzieliśmy wyżej, emanacja aktywności przemienia się bardzo szybko i daje życie produktom t. zw. aktywnego depozytu, czyli aktywności wzbudzonej. Cząsteczki tego depozytu osiadają na ścianach naczynia czy przedmiotach stałych, i to przy normalnym ciśnieniu gazu w większej ilości na przedmiotach bliższych preparatu. W polu elektrycznym są one częściowo skierowane ku katodzie, co wskazuje, że niosą one na sobie dodatnie ładunki elektryczne. Pochodzenie tych ładunków, choć nie dokładnie znane, jest — zdaje

się—podobne, jak u analogicznych produktów RaA lub ThA, powstających z emanacji radu lub toru. Doświadczenia Miss Slater^{*)} pozwalają przypuszczać, że emanacja np. radu, przemieniając się na RaA, wyrzuca prócz cząstki α także wolno poruszające się elektrony (promienie δ), przez co pozostały atom zyskuje nawet nabój dodatni, choć przez utratę cząstki α powinien był naelektryzować się ujemnie. Być może, że i w przypadku aktynu zachodzi podobne zjawisko, choć sprawa przedstawia się tu bardziej zawiśle. Rozkład produktów aktywnego depozytu, zwłaszcza w polu elektrycznym, był przedmiotem licznych badań, które wykazały, że zachodzą tu pewne fakty, których np. w przypadku toru zauważyć nie można.

Russ⁵³⁾ skonstatował, że, jeżeli stosunek ilości aktywnego depozytu toru złożonego na katodzie do ilości na anodzie jest około 200, to w przypadku aktynu ten sam stosunek był zaledwie 2. Widocznie tylko pewna liczba cząstek aktywnego depozytu ma ładunki dodatnie, reszta jest elektrycznie neutralna, lub nawet ma ładunek ujemny. Okazało się dalej, że ten stosunek aktywnego depozytu katody i anody nie był stały, ale zależał od warunków aktywowania, a w szczególności od ciśnienia gazu i od odległości preparatu od elektrod. Szczegółowe i dokładne pomiary⁵⁴⁾ wykazały bliżej tę zależność.

Zależność aktywności płyt, stanowiących elektrody, od odległości preparatu od nich podaje tablica IV-ta:

TABLICA IV.

Odstęp od aktynu	Aktywność w jednostkach dowolnych		Stosunek aktywności katoda/anoda
	Katody	Anody	
Ciśnienie 76 cm Hg			
0.2	300	2.7	110
0.4	250	3.0	83
0.9	220	3.1	72
1.4	200	4.2	48
2.2	117	5.4	22
2.7	100	7.7	13
4.4	14	5.9	2.4
5.0	10	4.3	2.3
Ciśnienie 2 mm Hg			
0.2	7.9	1.5	4.9
1.0	7.4	1.5	4.8
2.2	14.1	1.3	9.5
4.2	22.0	1.0	22.0

*) Miss Slater, Phil. Mag. 10, p. 460, r. 1905.

Jak widać z tej tablicy, przy ciśnieniu większym gazu stosunek aktywności katody do anody rośnie z malejącym odstępem; już w odległości 2 mm. otrzymujemy na anodzie mniej niż 1% tego, co na katodzie. Wskazywałoby to, że cząsteczki aktywnego depozytu opuszczają preparat naładowane dodatnio, a dopiero przez zderzenie z molekułami gazu ładunek ten tracą, a nawet zyskują ewentualnie ładunek ujemny. Z drugiej strony widzimy, że przy małym ciśnieniu gazu cząstki wychodzą w ten sposób, że wpływ pola elektrycznego bliżej preparatu jest jeszcze bardzo niewielki. Rutherford objaśniał analogiczne przypadki u radu przypuszczeniem, że, dopiero po przebyciu drogi i zredukowaniu prędkości przez kilkakrotne zderzenie się z molekułami gazu, cząstki mogą być kierowane przez pole. To też widzimy, że pod ciśnieniem 2 mm. dopiero w odstępie 4 cm. wpływ pola jest bardzo widoczny.

Ale w myśl tego wpływ pola na wędrowkę cząstek aktywnego depozytu dla danego odstępu będzie zależał zawsze i od ciśnienia. Tablica V, podana według Kennedy'ego⁶⁶⁾, podaje nam tę zależność w szerokich dosyć granicach. Preparat umieszczony był w odstępie 11 mm. od elektrod.

TABLICA V.

Ciśnienie	Aktywność katody	Aktywność anody	Katoda/Anoda
0.5	11.7	11.3	1.04
1.0	14.5	14.0	1.04
2.0	18.5	17.0	1.06
7.5	37.5	29.0	1.29
12.0	49.0	33.0	1.48
25.0	62.0	28.5	2.08
42.0	82.3	17.7	4.63
72.0	92.0	10.0	9.2
92.0	91.0	7.5	12.1
120.0	76.0	5.5	13.8
135.0	73.0	5.0	14.5
162.0	68.0	4.0	17.0
192.0	66.5	3.0	22.2
320.0	43.0	1.15	37.4
500.0	31.0	0.70	44.3
750.0	20.5	0.45	46

I z tych liczb, choć w szczegółach niezupełnie zgodnych z niektórymi rezultatami Russa, widać podobnie, że przy niedużych odstępach wpływ

poła występuje wyraźnie dopiero pod większym ciśnieniem. Dla odstępów większych znalazł Kennedy, podobnie jak Russ, wpływ pola wyraźnie się zaznaczający dopiero przy mniejszych ciśnieniach. W odstępie około 5 cm. stosunek katody do anody był zaledwie 2 dla normalnego ciśnienia.

Widać dalej z Tablicy V-tej, że w miarę malejącego ciśnienia aktywność anody jak i katody wzrasta, przechodzi przez maximum, poczem znów maleje. Te maxima występowały zarówno w powietrzu, jak w bezwodniku węglowym, jak i wodorze, występowały jednak dla danego odstępu dla różnych gazów przy różnych ciśnieniach. Ciśnienie to, odpowiadające maximum aktywności, było ogólnie tem większe, im gaz lżejszy. I tak dla CO_2 maximum katody występowało przy 60 mm. Hg. dla powietrza przy 80 mm., a wodoru 250 mm. Ponieważ maximalne aktywności we wszystkich gazach były te same, a pochodziły z dyfuzji największej liczby cząstek do tych gazów, na tej podstawie z tych maximalnych ciśnień wyprowadza Kennedy stosunki współczynników dyfuzji cząstek aktywnego depozytu, które dla CO_2 , powietrza i wodoru będą jak 1 : 1.3 : 4.3.

Wartości te są zupełnie podobne do tych, które Russ znalazł na współczynniki dyfuzji emanacji aktywności.

Kennedy wykonywał też pomiary zależności aktywności elektrod od natężenia pola. Okazało się, że aktywność katody wzrastała z rosnącym natężeniem pola od 80—1000 voltów, mniej więcej aż do poczwórnej wartości, podczas gdy aktywność anody wzrasta tylko dwukrotnie.

Na podstawie badań Russa i Kennedy'ego możemy przyjąć, że cząstki aktywnego depozytu opuszczają preparat dodatnio naelektryzowane, że jednak przez zetknięcie z molekułami gazu mogą te ładunki tracić, a nawet zyskać ujemne.

Debierne zauważył⁷⁾, że cząstki aktywnego depozytu aktywności zdają się być odchylane i przez pole magnetyczne, i to w kierunku przeciwnym, niż promienie katodowe. Doświadczenia te powtórzyli następnie Meyer i Schweidler²⁵⁾, którzy stosowali pole aż do natężenia 10^4 c. g. s. Doświadczenia te dały wszelako rezultat ujemny, tak że wymienieni badacze doszli do przekonania, że „odchylenia występujące raz w tym kierunku, jak podawał Debierne, czasem we wprost przeciwnym, czasem zupełnie nie występujące, należy przypisać nie działaniu pola magnetycznego, ale przypadkowym warunkom, jak niesymetrycznemu ustawieniu, prądom powietrza i t. p.“

Analiza produktów aktywnego depozytu: aktywności A, B, C.

Pierwsze dokładniejsze pomiary czasu przekształcania aktywności wzbudzonej aktywności zawdzięczamy Debierne'owi⁹⁾, który otrzymał 40 minut na okres przemiany do połowy.

Rutherford¹¹⁾ zanalizował bliżej aktywny depozyt aktywności na podstawie danych doświadczalnych, otrzymanych przez Miss Brooks. Doświadczenia tej badaczki okazały¹³⁾, że spadek aktywności da się przedstawić prostą krzywą wykładniczą tylko w przypadku, gdy ciało na którego powierzchni osiadał aktywny depozyt, było wystawione na działanie emanacji przez czas dłuższy. Gdy jednak czas ekspozycji był krótki, wtedy początek krzywej przedstawia się zupełnie odmiennie. Podobnie jak w przypadku toru, można i tu (po krótkiej ekspozycji) zauważyć najpierw wzrost aktywności, która dopiero po mniej więcej 8 minutach dochodzi do maximum, a później zmniejsza się według prostego prawa wykładniczego. Początkowy wzrost aktywności (fig. 5) Rutherford objaśnia przypuszczeniem, że produkt powstały z emanacji ulega dwóm przemianom, z których jedna jest bezpromienista, a tylko drugiej towarzyszy wystąpienie promieni. Obie przemiany odbywają się według prostego prawa wykładniczego, każda z odpowiednią dla siebie stałą charakterystyczną. Gdy czas ekspozycji jest bardzo krótki, wtedy jest aktywność w chwili usunięcia ciała z atmosfery emanacji bardzo mała, bo na powierzchni ciała złożony jest prawie tylko produkt bezpromienisty. Ale ten produkt daje życie nowemu ciału, i w miarę jak ilość tego rośnie, musi i aktywność całości się zwiększać.

Ogólna teoria przemian pozwala na łatwość obliczyć aktywność mieszaniny takich dwóch produktów w czasie dowolnym. Niech λ_1 i λ_2 przedstawiają stałe obu przemian, J_T maksymalną aktywność występującą po czasie T , zaś J_t aktywność po dowolnym czasie t , aktywność proporcjonalną do liczby obecnych, jeszcze nie przemienionych, cząstek produktu drugiego; wtedy:

$$J_t = J_T \frac{e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda_1 t}}{e^{-\lambda_2 T} - e^{-\lambda_1 T}}$$

Jedną ze stałych λ dana jest wprost z doświadczenia przez obserwację zmiany aktywności po dostatecznie długiej ekspozycji. Wstawiając tę wartość λ do powyższego równania, w którym wartości J_t , J_T i T dane są przez krzywą aktywności po bardzo krótkim czasie ekspozycji, możemy wartość drugiej stałej (λ_2) stąd wyrachować. Znając zaś obie stałe λ , otrzymujemy aktywność w dowolnym czasie z prostego równania

$$J_t = A (e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda_1 t})$$

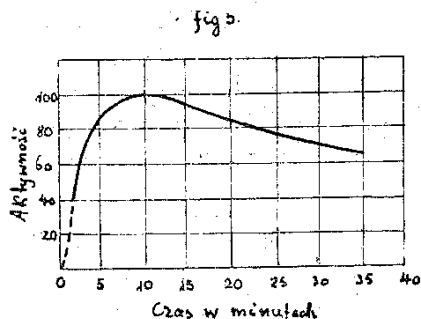
przyczem aktywność ta będzie wyrażona w procentach aktywności maksymalnej, gdy za czynnik proporcjonalności przyjmiemy

$$A = \frac{100}{e^{-\lambda_2 T} - e^{-\lambda_1 T}}$$

Trzeba tu wszelako zaznaczyć, że powyższe równania, dające aktywność po dowolnym czasie, są zupełnie symetryczne względem λ_1 i λ_2 . Ze względu na to nie możemy z góry rozstrzygnąć, która ze stałych λ dotyczy zmiany bezpromienistej, a która aktywnej. Rozstrzygnięcie dało się jednak znaleźć na innej drodze.

Zanim do tego przyjdziemy, przyjrzyjmy się rezultatom liczbowym, doświadczalnie otrzymanym. Miss Brooks znalazła, że aktywność wzbudzona aktynu po długiej ekspozycji opada z czasem według prostego prawa wykładniczego do połowy w 41 min. To daje wartość stałej $\lambda_1 = 2.8 \cdot 10^{-4} \text{ sek}^{-1}$. Z krzywych aktywności po krótkiej ekspozycji oblicza się wartość $\lambda_2 = 7.7 \cdot 10^{-3}$, co odpowiada czasowi przemiany do połowy 1.5 min.

Dalsze badania dostarczyły dokładniejszych wartości. Bronson²⁰⁾ znalazł przy pomocy bardzo ścisłej metody, t. zw. stałego odchylenia (constant



deflection method) wartość okresu połowiącego aktywność (po długiej ekspozycji) 35.7 min. Stąd $\lambda_1 = 3.2 \cdot 10^{-4}$. Zmiana aktywności po krótkiej ekspozycji według Bronsona, przedstawiona krzywą podaną na fig. 5, pozwala obrachować $\lambda_2 = 5.4 \cdot 10^{-3}$, a czas przemiany do połowy 2.15 min. Podobne krzywe, z których można wyliczyć nie wiele od powyższych różniące się wartości stałych, podali później Meyer i Schweidler²⁴⁾.

Tą drogą wyrachowujemy wartości stałych obu przemian. Dopiero jednak doświadczenia Miss Brooks¹³⁾ nad elektrolizą produktów aktywnego depozytu umożliwiły rozstrzygnięcie pytania, która z tych stałych należy do zmiany bezpromienistej, a która do aktywnej. Miss Brooks rozpuściła aktywny depozyt, nagromadzony na płycie platynowej w kwasie solnym, i roztwór ten poddała elektrolizie. Aktywność, zebrana na katodzie, opadała z czasem według okresu około 1.5 min. i to według prostej krzywej wykładniczej. Liczba — jak widać — mało różna od tej, którą przez analizę krzywych daje teoria. Na tej podstawie możemy przypuścić, że szybsza przemiana jest aktywna, a zatem wolniejsza (35.7 min.) zwykle obserwowana po dłuższej ekspozycji jest bezpromienista.

Meyer i Schweidler²⁴⁾ rozdzielili produkty aktywnego depozytu także i przez ogrzewanie. Naaktywowana blacha nie zmieniała prawie swej aktywności przy ogrzaniu do 200°. Ogrzana jednak do czerwonego żaru, okazywała znaczne zmniejszenie aktywności, a dalszy przebieg spadku tej aktywności był o wiele szybszy. Styczne krzywych w czasie bezpośrednio po ogrzaniu dały okresy 1.4—1.6, a więc były w zupełnej zgodności z teorią i doświadczeniami nad elektrolizą.

Zbierając te wyniki razem, widzimy: 1) że produkt powstający z emanacji, który według nomenklatury Rutherforda nazywamy AcA, przy swej transformacji o charakterystycznym okresie 35.7 min. nie wydaje promieni α ; 2) że powstający z niego aktywny produkt AcB przemienia się w 1.5—2.15 min. do połowy, wysyłając promienie α .

Pomiary szybkości transformacji AcA robione były przez wielu badaczy, i to wielokrotnie. Szczególnym dosyć wydaje się fakt, że rezultaty dały wyniki, różniące się znacznie i to więcej, niżby to błędy doświadczalne mogły usprawiedliwić.

Rezultaty te podane są w następującej tablicy:

Debierne⁹⁾ (aktyn) 40 min.

Miss Brooks¹³⁾ (ciało emanacyjne) 41 min.

Elster Geitel¹⁷⁾ (ciało emanacyjne) 34.4 min.

Bronson²⁰⁾ (ciało emanacyjne) 35.7 min.

Godlewski²²⁾ (ciało emanacyjne) 36 min.

Meyer-Schweidler²⁵⁾ (aktyn) 36.1, 36.7, 37.0, 33.1, 31.8, 36.4, 37.5, 37.9, 34.6, 37.3, średnia 35.8.

Hahn i Sackur²³⁾ (aktyn) 36.0, 36.2, 36.2, 37.0, 37.2^{*)}, średnia 36.5.

Hahn i Sackur²³⁾ (ciało emanacyjne) 36.3, 36.5, 36.4.

Debierne (aktyn) 36.

Hess⁴⁸⁾ **) (aktyn) 36.07.

Jakkolwiek więc za średnią możemy przyjąć wartość 35.7 lub okrągło 36, to przecież zestawienie powyższe wskazuje, że z niewiadomych przyczyn różnice wypadają stosunkowo bardzo znaczne.

Oprócz tych dwóch produktów AcA i AcB, Hahn i Meitner⁵⁷⁾ stwierdzili istnienie jeszcze jednego produktu, który powstaje z AcB, a który nazwali AcC. Badacze ci zauważyli mianowicie, że zamieranie aktywności produktów aktywnego depozytu przedstawia się odmiennie, zależnie od tego, czy

*) Hahn i Sackur otrzymywali także czasem w obu przypadkach z niewiadomych powodów wartości aż do 40 min., do obliczenia średniej nie wciągnięte.

**) Hess nie znajdował większych wahań jak 35.6—36.6.

badamy aktywność promieniami α czy β . Fakt ten wskazywał możliwość istnienia nowego produktu i autorowie rozpoczęli badania następujące.

Aktywny depozyt, pochodzący z preparatu aktywnego, możliwie oczyszczonego i zebrany na płycie platynowej, rozpuszczono w kwasie solnym i szeregiem różnych działań chemicznych próbowano nowy, hypotetyczny produkt wydzielić. Próby dały w znacznej części wyniki ujemne. Dopiero przy pomocy węgla zwierzęcego i gąbki platynowej można było otrzymać 10–15% aktywności, pochodzącej od aktywności A i B, reszta zaś wskazywała istnienie nowego produktu, wysyłającego tylko promienie β , produktu o peryodzie około 5 minut.

Jeszcze lepsze rezultaty okazały się przy rozdzieleniu produktów przez ogrzewanie. Z doświadczeń Levina, o których poniżej będziemy mówili, wiadomo, że aktywność A jest wiele lotniejsza niż aktywność B, że więc przez ogrzanie produkty te w znacznej części możemy oddzielić. Hahn i Meitner ogrzewali w dmuchawce blachy platynowe, naaktywowane od emanacji aktywności i mierzyli elektroskopem ich β aktywność.

Okazało się, że aktywność płyty po ogrzaniu opadała z peryodem o wiele krótszym niż AcA, nie mogła jednak pochodzić od AcB, albowiem w tym przypadku po kilku minutach zupełnieby zniknęła. Ponieważ przez ogrzanie tylko znaczna część AcA została usunięta, ale AcB pozostał, a aktywność opadała z okresem dłuższym niż aktywność B, autorowie dochodzą do wniosku, że AcB wcale promieni β nie wydaje.

Dla stwierdzenia tego faktu robili doświadczenie następujące. Naaktywowaną blachę platynową ogrzewają silnie w dmuchawce przez kilka minut, poczem rozcinają ją na dwie części i badają współcześnie u jednej części zmianę aktywności promieniami α , u drugiej promieniami β . Okazało się, że aktywność α opadała z czasem według peryodu AcB (2·15 min.), aktywność zaś β początkowo rosła, a po osiągnięciu maximum opadała z peryodem około 5 minut do połowy.

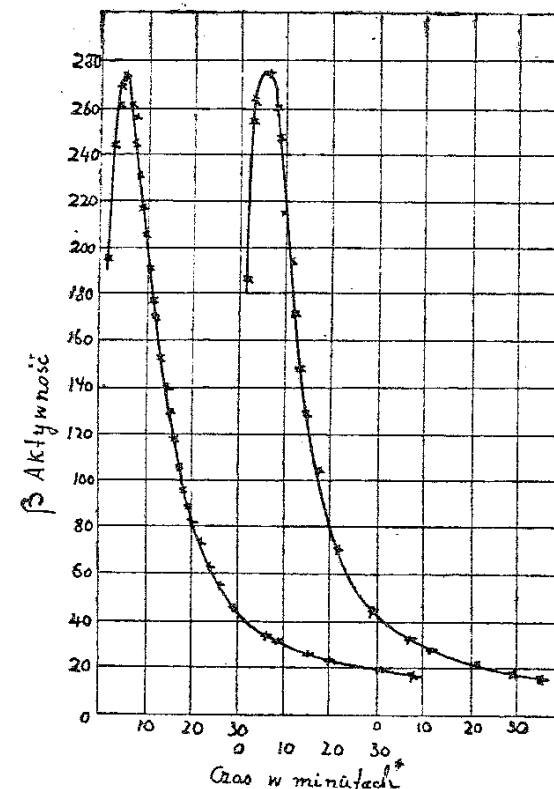
Wyjaśnienie tych faktów jest bardzo proste, jeśli przyjmujemy istnienie substancji AcC, wydającej tylko promienie β , a powstającej z aktywności B. Substancja ta jest łatwiej lotna niż AcB, przez ogrzanie przeto preparatu usuwamy zeń nie tylko AcA, ale i znaczną część substancji AcC. To też po ogrzaniu β aktywność preparatu, w miarę tworzenia się AcC z AcB, początkowo musi wzrastać, osiąga maximum i później dopiero opada z czasem według prawa wykładniczego.

Szeregiem dokładnych pomiarów wyznaczyli Hahn i Meitner stałą transformacji AcB $\lambda = 0.136 \text{ min.}^{-1}$, skąd okres przemiany do połowy wynosi 5.1 min.

Kovarik znalazł⁷⁹⁾ okres trochę mniejszy, mianowicie średnio 4.71 min. i podobną wartość otrzymała p. Blanquies⁷¹⁾.

Kilka z pomiędzy krzywych, ilustrujących zmianę aktywności β substancji AcC, przez ogrzanie w znacznej części od AcB uwolnionej, przedstawia według Hahna i Meitner ówne figura 6-a.

fig 6.



Według ogólnej teorii zmian promieniotwórczych, podanej przez Rutherforda, możemy krzywą tę wyrachować teoretycznie. Wyrachowanie to będzie znacznie uproszczone, jeśli przyjmujemy, że przemiana AcA jest bezpromienista, a AcA wysyła tylko cząstki α , tak że aktywność β pochodzi tylko od przemiany AcC. Bliższe badania natury i zdolności przenikającej promieni β wykazały⁵⁸⁾ jednak, że i AcA wydaje promienie β , jakkolwiek bardzo słabo przenikliwe. Wobec tego możemy krzywe teoretyczne, wyprowadzone w powyżej podanych założeniach, zestawzić z doświadczalnymi, jeśli te ostatnie otrzymamy, mierząc aktywność β promieniami przepuszczonymi przez cienkie blaszki aluminiowe, które zupełnie pochłoną promienie miękkie,

pochodzące od AcA. Wtedy istotnie otrzymujemy zupełną zgodność krzywych doświadczalnie znalezionych (Fig. 6) i krzywej teoretycznej, przedstawionej przez równanie

$$J = \frac{100 \lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}),$$

w którym λ_1 i λ_2 mają wartości odpowiednie do okresów przemiany do połowy: 2·15 min. i 5·1 min.

Zarówno teoria jak i doświadczenie wykazuje, że krzywe aktywności α będą zupełnie odmienne.

Przy oddzieleniu AcA od AcC przez ogrzanie nie można było jednak otrzymać nigdy produktu AcC w stanie czystym, pewien choć niewielki procent AcA zawsze był obecny.

Hahn i Meitner podają⁶²⁾ jednak inną metodę, która pozwala na otrzymanie AcC w stanie doskonale czystym. Jest to metoda t. zw. odrzutów.

Badając aktywność różnych produktów aktynu w różnych warunkach, skonstatował Hahn⁵⁹⁾, że jeśli ponad radioaktynem umieścimy blisko niego płytkę, płytka ta zostaje po pewnym czasie naaktywowana. Aktywność tej płytki okazywała się silniejsza, jeśli robiono doświadczenie w próżni i jeśli w czasie ekspozycji płytka była naelektryzowana ujemnie. Bliższe badania aktywności tej płytki wykazały obecność AcX. Aktyn X jest produktem, powstającym z radioaktynu. Aby wytlómaczyć to zjawisko, Hahn, przyjmuje, że w chwili wyrzucenia cząstki α przy przemianie atomu radioaktynu reszta atomu, stanowiąca już atom AcX, zostaje przez reakcję wstecz odrzucona i dostaje się w ten sposób na płytkę ponad preparatem umieszczoną. Że zaś te atomy AcX, podobnie jak atomy AcA, po swem powstaniu z emanacji, są dodatnio naelektryzowane, przeto gromadzą się one w szczególności na płycie ujemnie naelektryzowanej. Zjawisko to odrzutu przez reakcję przy transformacji atomu było przewidziane przez Rutherforda na kilka lat przed doświadczalnym jego stwierdzeniem. Analogiczne zjawiska przy transformacjach różnych produktów zostały później stwierdzone przez licznych badaczy. Hahn i Meitner⁶²⁾ stosują tę metodę do otrzymania AcC. Ponieważ tylko produkt AcB wydaje promienie α , przeto na płytce, trzymanej ponad preparatem, zawierającym produkty aktywnego depozytu aktynu, nagromadza się znaczna liczba odrzuconych w czasie transformacji atomów AcB, które przedstawiają produkt AcC w stanie zupełnie czystym.

Zbierając razem powyższe rezultaty, widzimy, że aktywny depozyt aktynu, powstający z emanacji, składa się z następujących produktów, które kolejno z siebie powstają:

AcA o okresie 36 min., do połowy wysyłający tylko bardzo słabo przenikliwe promienie β ;

AcB o okresie 2·15 min., wysyłający promienie α ;

AcC o okresie 5·1 min., wysyłający promienie β i γ ;

Ale prócz tych produktów w roku ubiegłym znaleziono jeszcze jeden.

Produkt pośredni między emanacją a aktynem A.

W r. 1908 wykonał Bronson⁵⁶⁾ szereg szczegółowych i dokładnych pomiarów, tyjących się względnej liczby cząstek α , wysyłanych przez emanację i aktywny depozyt aktynu. Metoda polegała na porównywaniu jonizacji, wytworzonej przez emanację i aktywny depozyt aktynu.

Przez cylinder, opatrzone elektrodą centralną i stanowiący komorę jonizacyjną, przepuszczano stały prąd powietrza, unoszącego emanację z silnego preparatu aktynu. Na ścianach, względnie na elektrodzie, osiadał aktywny depozyt. Maximum prądu nasycenia, mierzonego w tym aparacie, wskazywało wytworzenie się stanu równowagi, a wartość tego prądu maksymalnego dawała miarę jonizacji, sprawionej przez aktywny depozyt i emanację. Po dokonanym pomiarze, zatrzymywano przyływ powietrza doprowadzającego emanację, a gdy emanacja po kilkudziesięciu sekundach zamarła, mierzono ponownie jonizację, pochodzącą obecnie już tylko od aktywnego depozytu. Stąd można było wprost, na podstawie doświadczenia, wyznaczyć stosunek jonizacji, pochodzącej od aktywnego depozytu i emanacji. Ale wartość tego stosunku obliczał Bronson i teoretycznie, z uwzględnieniem warunków doświadczenia, drogi średniej swobodnej cząstek α , nim padły na ściany, i ich doniosłości rzutu, dających względną miarę zdolności jonizacyjnych. Wartości, obliczone i doświadczalnie znalezione, zgadzały się z dokładnością niezwykłą 1%, ale zgadzały się dopiero po przyjęciu założenia, że albo obok emanacji istnieje drugi bardzo szybko przemienny produkt wysyłający cząstkę α , albo że atom emanacji przy swej przemianie wydaje dwa razy tyle cząstek α , niż atom aktywnego depozytu. Ze względu na to, że krzywe Bragg'a, które były znane w tym czasie dla produktów aktynu, nie wykazywały piątego rodzaju promieni α wśród rodziny aktynu, Bronson przychylił się raczej do pierwszego przypuszczenia, a więc przypuszczał, że atom emanacji przy swej przemianie wydaje dwa razy tyle cząstek α niż atom AcB.

Geiger i Marsden⁷⁰⁾ podjęli ponownie tę kwestję i celem rozstrzygnięcia, które z przypuszczeń Bronsona jest bardziej uzasadnione, rozpoczęli dokładne pomiary liczby scyntylacji, pochodzących od emanacji względnie aktywnego depozytu w równowadze z emanacją. Zestawienie doświadczalne było takie: emanacja zbierała się w małej komorze (wypompowanej), połączonej rurką opatrzoną kurkiem z naczyniem, gdzie był preparat aktynu. Komora zamknięta była blaszką aluminiową i to tak cieniutką, aby przepuszczała promienie α , naprzeciw zaś blaszki umieszczony był ekran, na który

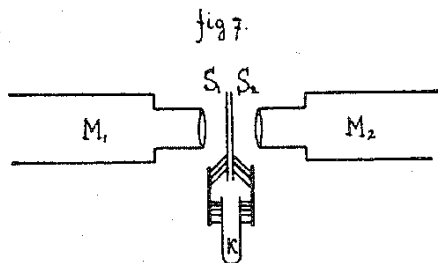
patrzono przez mikroskop. Gdy emanacja była w równowadze z aktywnym depozytem, złożonym w komorze, liczba scyntylicyj, zaobserwowana na ekranie, dawała miarę liczby cząstek α , pochodzących od emanacji i aktywnego depozytu. Wtedy zamykano kurek, prowadzący do naczynia z preparatem, a gdy po kilkudziesięciu sekundach cała emanacja uległa transformacji, mierzono znów liczbę scyntylicyj. Pochodziły one już tylko od AcB. Wyniki były następujące:

Liczba scyntylicyj na mm^2 i minutę

	Emanacja+aktywny depozyt	aktywny depozyt
1)	84.0	26.0
2)	36.0	12.7

Jak widać, po zniknięciu emanacji, liczba scyntylicyj spada do jednej trzeciej, co wskazuje zgodnie z Bronsonem, że emanacja wysyła dwa razy tyle cząstek α , co aktywny depozyt.

Fakt, przewidziany przez Bronsona, znajduje tu tedy doskonałe potwierdzenie. Badacze wymienieni poszli jeszcze o jeden krok dalej. Dwoma mikroskopami patrzą badacze współcześnie na 2 ekrany S_1 i S_2 , bardzo blisko siebie ustawione.



Pomiędzy ekranami dyfunduje emanacja z preparatu, umieszczonego w naczyniu K . Aby przeszkodzić temu, żeby scyntylicyje jednego ekranu nie były widziane w drugim mikroskopie, wstawiają pomiędzy ekrany cieniutką płytkę aluminiową. Przy pomocy elektrycznie puszczanego aparatu rejestrującego i chronometru notują dokładnie chwile powstawania scyntylicyj. Okazało się, że prócz scyntylicyj pojedynczych można było widzieć bardzo wyraźnie pary scyntylicyj. Te pary uwidaczniały się nie tylko na jednym ekranie, ale często jako iskrzenia pojedyncze, ale zupełnie współczesne na obu ekranach. Dokładne pomiary okazały, że tych wyraźnych par było procentowo tem więcej, im mniej było aktywnego depozytu. Przy równowadze emanacji z aktywnym depozytem liczba par zbliżała się do teoretycznie przypuszczalnej wartości, a więc pary scyntylicyj dawały około 66% wszystkich widocznych iskrzeń.

Na podstawie tych doświadczeń Geiger i Marsden potwierdzają w całości rezultaty, otrzymane przez Bronsona, i przyjmują, że transformacji emanacji towarzyszy wysłanie dwóch cząstek α . Zwracają dalej uwagę na to, że gdybyśmy te zjawiska chcieli przypisać istnieniu nowego jeszcze produktu, to produkt ten musiałby mieć okres transformacji mniejszy od $1/10$ sek.

W ten sposób jednak kwestya nie została ostatecznie rozstrzygnięta; ma ona zaś dla teorii promieniotwórczości znaczenie doniosłe. Nie chodzi tu bowiem tylko o istnienie nowego produktu, ale przede wszystkim o to, czy istnieją takie przemiany, przy których nie jedna, ale więcej cząstek α zostaje wysłanych. Doświadczenia dotychczasowe zdawały się usprawiedliwiać sposób obliczania ciężarów atomowych produktów promieniotwórczych taki, że od ciężaru atomowego ciała macierzystego, wysyłającego cząstkę α , odejmowano 4, aby otrzymać ciężar atomowy produktu pochodnego. Doświadczalnie znaleziona przez Ramsaya gęstość emanacji radowej dała wartość ciężaru atomowego emanacji radowej, zgodną z wartością w ten sposób obliczoną z ciężaru atomowego radu. Doświadczenia Bronsona, potwierdzone przez Geigera i Marsdena, wskazywały, że w przypadku emanacji aktywnu rzecz miałaby się odmiennie, bo nie jedna, ale dwie cząstki α byłyby wysłane.

To też Geiger podjął⁷⁸⁾ tę kwestyę na nowo, atakując ją już z innej strony. Poddał on mianowicie dokładnej rewizji krzywe jonizacji, metodą Bragga dla produktów aktywnu wyznaczone. Dokładne badanie tych krzywych jonizacji wykazało istnienie dla emanacji i aktywnego depozytu nie dwóch, ale trzech rodzajów cząstek α , o doniosłości rzutu 5.4 cm. dla AcB a 5.7 cm. i 6.5 cm. dla emanacji. Ponieważ każdy rodzaj cząstek α należy do oddzielnego produktu, przeto kwestya, poruszona przez Bronsona, zostaje odrazu rozwiązana w ten sposób, że obok emanacji musi istnieć jeszcze jeden nowy produkt o krótkim czasie transformacji.

Hypotezę tę potwierdziło następujące doświadczenie, zrobione przez Geigera na wniosek Rutherforda. W rurce o przekroju kwadratowym (Fig. 8), przez którą przeciągano emanację aktywnu, wycięte było okienko, przykryte cieniutką płytką z miki. Wewnątrz wzdłuż rurki leżał ekscentrycznie izolowany drut, który można było łądować do wysokiego ujemnego potencjału. Jeśli produkt krótki, powstający z emanacji, jest dodatnio naelektryzowany, to powinien być przyciągany ku drutowi z szybkością zależną od natężenia pola. Ekran, na którym obserwowano scyntylicyje, umieszczono naprzeciw okna, ale w takiej odległości, że tylko promienie o największej doniosłości mogły dojść do niego. Promieniowanie od drutu samego zasłaniało pudełko. Scyntylicyje liczono bez pola i z polem. Liczba scyntylicyj zmniejszała się do około $1/2$ dla różnicy potencjału 30 voltów, a do $1/5$ dla 200 voltów. Silniejsze pole nie wywierało już wpływu—zdaje się—dlatego, że znaczna część

Fig 8



atomów krótkotrwałego produktu mogła utracić nabój przez zderzenie ze ścianami lub rekombinację. Ponieważ szybkość wędrówki atomów radioaktywnych jest ta sama jak jonów dodatnich^{*)}, można było stąd obliczyć rząd wielkości peryodu nowego produktu. W ten sposób obliczony peryod transformacji wynosił około $1/1500$ sek.

Tą drogą stwierdzono istnienie produktu, nadzwyczaj szybko zamierającego a towarzyszącego emanacji, z której powstaje. Rutherford zwraca uwagę⁸³⁾ na to, że istnieniem tego produktu można wyjaśnić niektóre zjawiska fosforescencji, które przed wielu laty otrzymał Giesel ze swemi preparatami. Giesel skonstatował¹⁵⁾, że jeśli puszczano na ekran strumień powietrza zawierający emanację, ekran zaświecał się bardzo jasno, gdy był ujemnie naelektryzowany. Wtedy widocznie ten produkt szybkooprzemiany, dodatnio naelektryzowany, do niego był porywany. Rutherford wykonywa⁸³⁾ sam doświadczenie następujące, wykazujące jeszcze wyraźniej istnienie tego szybkooprzemianego produktu. Wzdłuż osi cylindra, do którego dyfunduje emanacja aktynu, biegnie drut, który można łączyć z jednym biegunem baterji, której drugi biegun dotyka cylindra. Drut powleczony jest przy swym końcu warstewką siarczku cynku. W ciemnym pokoju warstewka ta, stanowiąca ekran, świeci bardzo słabo, gdy niema pola elektrycznego; świeci wtedy tylko pod wpływem α promieni emanacji. Ale po połączeniu drutu z biegunem ujemnym zaświeca się intensywnie momentalnie. Produkt krótkotrwały na nim widocznie się gromadzi. Po przerwaniu połączenia z baterją jasność w tej chwili gaśnie.

Bliższem zbadaniem tego produktu krótkotrwałego zajęli się w laboratorium Rutherforda Moseley i Fajans⁸⁴⁾. Dzięki nadzwyczaj precyzyjnej metodzie, którą się posługiwali, byli oni w możności — mimo znacznych trudności doświadczalnych, — wyznaczyć dokładniej szybkość transformacji tego produktu. Trudność doświadczalna polegała na tem, że należało zmierzyć aktywność produktu w czasie możliwie bezpośrednim po jego wytworzeniu, i zmierzyć ją powtórnie po upływie nadzwyczaj krótkiego, ale znanego czasu.

Zasada doświadczeń była następująca: preparat aktynu umieszczono w ebonitowym pudełku zamkniętem welwetem, a pudełko przyciśnięto do szybko wirującego krążka. Ponad preparatem umieszczona była w pudełku ebonitowym siatka metalowa, którą łączono z $+800$ voltami, celem wyrzucenia działaniem pola elektrycznego wytworzonego preparatu ku krążkowi. Krążek wirujący przechodził w dalszym swym obrocie ponad dwiema komorami jonizacyjnymi, połączonymi z elektrometrami, którymi mierzono jonizację metodą kompensacji.

*) Franck. Verh. deut. phys. Ges. 1909, XI.

Różnica aktywności krążka, mierzonej w komorze pierwszej i drugiej, dawała miarę ułamka, o który zmniejszyła się ilość badanego produktu w czasie, gdy krążek przechodził od jednej komory do drugiej. Ponieważ czas ten był znany z odległości kątowej obu komór i szybkości wirowania krążka, można było obliczyć stąd stałą transformacji.

W jednym z doświadczeń stosunek aktywności komory drugiej do pierwszej, po uwzględnieniu odpowiednich poprawek, był 0.575. Komory były od siebie w odległości kątowej 16.4° , a liczba obrotów krążka była 28 na sek. Stąd z równania

$$\frac{J}{J_0} = e^{-\lambda t} = 0.575$$

znajdujemy stałą transformacji $\lambda = 329 \text{ sek}^{-1}$, a okres przemiany do połowy równy 0,00211 sek. Jak widać, rząd wielkości zupełnie jest zgodny z wartością, znalezioną poprzednio grubszą metodą przez Geigera.

Doświadczenia powyższe stwierdzają z pewnością, że bezpośrednio po emanacji i z niej powstaje produkt, mający charakter raczej ciała stałego, nadzwyczaj szybko przemiany. W dalszym ciągu tej pracy będę nazywał produkt ten aktywnem A_0 . Rutherford i Geiger⁸³⁾ dają mu nazwę AcA i proponują, aby nazwy następnych produktów kolejno przesunąć, tak że substancja o okresie 36 min. miałaby nazwę AcB, o okresie 2.15 min. AcC, a o okresie 5.1 min. AcD. Nomenklatura ta, przed paru miesiącami zaproponowana, jeszcze nie przyjęła się powszechnie w literaturze. Ma ona jedną stronę ujemną: nie tylko zmienia nazwy oddawna w literaturze utarte, ale nadto wprowadza zamęt, dając nazwy, używane od wielu lat dla pewnych ciał, ciałom innym. W ciągu niniejszej pracy używałem dla produktów aktywnego depozytu aktynu nomenklatury dawniejszej, oznaczając nowy produkt aktywnem A_0 ^{*)}.

Panna Blanquies^{65) 71)}, badając metodą Bragga jonizację pochodzącą od AcB, otrzymała krzywą jonizacji, wskazującą możliwość istnienia jeszcze jednego produktu o α aktywności w rodzinie aktynu. Szczegółowe badania oraz prowadzone różnymi metodami przez Mosley'a i Fajansa⁸⁴⁾, Marsdema i Barrata⁶⁵⁾ dały jednak wszystkie rezultaty ujemne i obecności przypuszczalnego nowego produktu nie były w stanie potwierdzić.

*) (Uwaga dodana w korekcie we wrześniu 1912). Nowa nomenklatura, nadana przez Rutherforda i Geigera⁸³⁾, została przyjęta w literaturze. Ma ona przedewszystkiem tę dobrą stronę, że analogiczne pod względem promieniotwórczym, a także i chemicznym produkty aktynu toru i radu oznaczone są tymi samymi symbolami. W nowej nomenklaturze tedy

produkt, oznaczany w tej pracy jako	aktyn A_0 ,	nosi nazwę	aktyn A,
"	"	"	aktyn B,
"	"	"	aktyn C,
"	"	"	aktyn D.

Własności fizyczne i elektrochemiczne produktów aktywnego depozytu.

Własności fizyczne produktów aktywnego depozytu badane były szczególnie w laboratorium Rutherforda przez Levina³⁷⁾. Levin wyznaczał w szczególności lotność produktów aktywności wzbudzonej w różnych temperaturach. Aktywny depozyt nagromadzał on na drucie platynowym, wystawionym jako elektroda ujemna w atmosferze emanacji i mierzył przez kilka minut po wyjęciu jego aktywność, określając w ten sposób początek krzywej straty. Druć umieszczał następnie w piecu elektrycznym, którego temperaturę wskazywał pyrometr systemu Barnes'a.

Otrzymane rezultaty zestawione są w tablicy VI-ej, w której T oznacza temperaturę w stopniach Celsjusa, d długość ogrzewania, a J aktywność drutu bezpośrednio po ogrzaniu, wyrażoną w procentach wartości obliczonej w założeniu spadku aktywności wykładniczego do połowy w 36 min. Ostatnia tablica zawiera uwagę, czy aktywność drutu po ogrzaniu opadała według peryodu długoego 36 min. (AcA), czy krótkiego 2 min. (AcB).

TABLICA VI.

T	J	d (min.)	Uwaga
140	98.7	5	okres długi
386	98.3	10	"
390	99.6	10	"
404	100.3	10	"
412	93.7	10	"
443	81.8	10	"
455	72	10	"
468	76	10	"
484	81.3	10	"
508	67.7	10	"
512	68.7	10	"
530	24.1	10	"
533	36.3	15	"
650	38	15	"
660	30.6	15	"
750	4.7	10	"
800	23.6	2	okres krótki
885	12.7	2	"
1015	3.7	2	"

Jak widać z tej tablicy, AcA jest nielotne poniżej 400°. Powyżej tej temperatury ulatnianie zaczyna się i wzrasta z temperaturą, choć nie proporcjonalnie do niej. W temp. 750° w przeciągu 10 min. cała prawie ilość AcA ulatnia się.

AcB zaczyna ulatniać się dopiero powyżej 700°, dokładniejsze wyznaczenie tej temperatury jest zresztą trudne z powodu wielkiej szybkości przemiany tej substancji. Levin badał prócz tego wydzielanie elektrolityczne pro-

duktów aktywno. Elektrolizując roztwór AcX w kwasie solnym, otrzymał AcB na katodzie, podobnie jak Miss Brooks otrzymała tę substancję przez elektrolizę roztworu produktów aktywnego depozytu. Podobne doświadczenia robił i Giesel¹⁰⁾, jakkolwiek nie zidentyfikował produktu wydzielonego.

Przy użyciu większej siły elektromotorycznej przy elektrolizie roztworu AcX w kwasie azotowym Levin otrzymał na katodzie prócz AcB, także i AcA. Z roztworu amoniakalnego AcX można otrzymać na katodzie AcX wraz z obu produktami pochodnymi, jeśli użyta siła elektromotoryczna nie przekracza wartości potrzebnej do rozkładu wody. Dokładniejsze doświadczenia wykazały, że otrzymuje się przez elektrolizę na katodzie AcX wraz z produktami w stanie czystym tylko wtenczas, gdy elektrolizowany roztwór amoniakalny wolny był zupełnie od aktywno i radioaktywno. Jeśli tak nie jest, małe ilości aktywno i radioaktywno razem z AcX na katodzie wydzielają się zawsze; z roztworu kwaśnego AcX przez elektrolizę nie wydzielają się, AcB wydzielają się przy 1.4 voltach, a AcA przy 1.75 volt.

Roztwór aktywno w stężonym kwasie azotowym zachowuje się przy elektrolizie jak zakwaszony roztwór AcX, wydzielając na katodzie AcA i AcB. Roztwory aktywno słabo tylko zakwaszone okazują znaczenie przy katodzie. Po dłuższym czasie katoda pokrywa się żółtym, bardzo aktywnym osadem. Osad ten zawiera radioaktywno.

Levin badał też własności elektrochemiczne produktów aktywno, zanurzając w ich roztwory różne metale. Z kwaśnego roztworu AcX wydzielają w ten sposób AcB metale: cynk, ołów, miedź i srebro. Te same metale, z wyjątkiem srebra, wydzielają AcA, a prawdopodobnie i AcB z roztworów amoniakalnych. Ołów wydzielają z roztworów kwaśnych AcX, a cynk z roztworów amoniakalnych.

Zajmując się bliżej poznaniem warunków, wśród których przebiega elektroliza produktów ciał promieniotwórczych, natrafiłem w przypadku aktywno na pewien fakt szczególnie⁸⁸⁾. Okazało się mianowicie, że jakkolwiek bez mechanicznego mycia produkty te nie są w wodzie rozpuszczalne, to przecież w pewnych warunkach mogą one zostać elektrolitycznie przeniesione z anody do katody już przez czystą wodę, mogą tedy do wody elektrolitycznie w stanie jonów być wparte. Odnośne doświadczenia przedstawiały się w sposób następujący:

Przez wystawienie płytki platynowej, jako elektrody ujemnej, w atmosferze emanacji zgromadzono na niej produkty aktywnego depozytu i mierzono następnie, po wyjęciu płytki z emanacji, ich aktywność, oznaczając w ten sposób początek krzywej straty. Następnie zanurzałem płytkę do czystej kilkakrotnie przedstytowanej wody i używałem jej, jako anody przy elektrolizie wody. Katoda była również z platyny. Zwłaszcza w tym razie, kiedy przepuszczano prąd, używając bardzo dużej siły elektromotorycznej (220 lub 440

voltów) okazywało się, że płytka w pewnych przypadkach po wyjęciu z wody utraciła znaczną część swej aktywności. Aktywność ta, jeśli prąd szedł dostatecznie długo (przy odstępie elektrod 1 cm., przynajmniej jedną minutę) pojawiała się na katodzie, i to często dokładnie w tej ilości, której na anodzie zabrakło. Bliższe zbadanie warunków tego zjawiska okazało, że to elektrolityczne przeniesienie produktu z anody do katody występowało tylko wtedy, kiedy płytka naaktywowana, służąca jako anoda, w poprzednich doświadczeniach używana była jako katoda przy elektrolizie, a więc kiedy była poprzednio elektrolitycznie wodorem nasycona. To poprzednie nasycenie wodorem okazywało się warunkiem koniecznym do występowania tego zjawiska. Tylko w tym przypadku atomy AcA wstępują zatem przy użyciu dużej siły elektromotorycznej do czystej wody jako jony. Jeśli płytka była dostatecznie nasycona wodorem, wtedy można było przy użyciu dużej siły elektromotorycznej już po kilku sekundach wepchnąć z niej do wody znaczną część, bo aż do $\frac{2}{3}$ całej ilości złożonego na płytce produktu AcA i AcB. Więcej jednak niż $\frac{2}{3}$ aktywności płytki nawet przez dalszą, choćby kilkunastominutową elektrolizę, usunąć z płytki nie było można. Szczegółowe wyniki tych doświadczeń ogłoszone będą na innym miejscu.

Kilka pomiarów rozpuszczalności przy mechanicznym zmywaniu produktów aktywnego depozytu wykonał Arrhenius⁷³⁾. Stwierdził on że AcA jest łatwiej w wodzie rozpuszczalny niż AcB. Eter rozpuszcza produkty aktywności mniej niż alkohol, alkohol mniej niż woda. W kwasie siarkowym, azotowym, cytrynowym te produkty są dość łatwo rozpuszczalne; koncentracja kwasów i siła ich nie ma tu prawie znaczenia. Charakterystyczne jest także, że i temperatura ma na rozpuszczalność tych produktów wpływ prawie minimalny.

Natura promieni, wysyłanych przez produkty aktywności.

Promienie α .

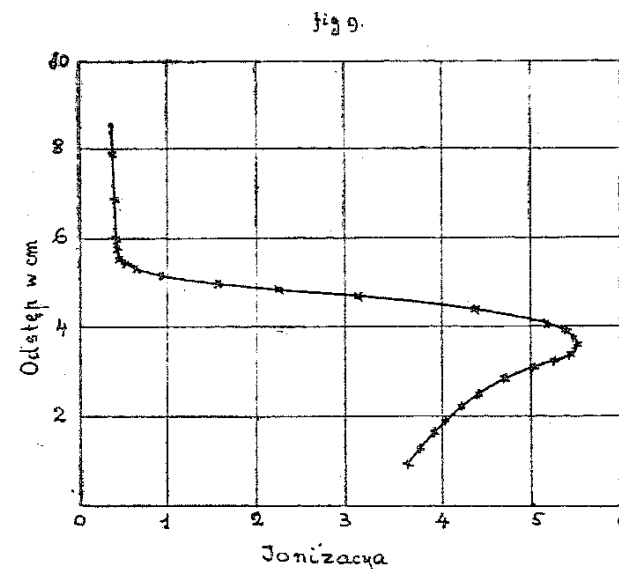
Badania, rozpoczęte w r. 1904 przez Bragga, wykazały, jak wiadomo, że grubość warstwy powietrza, w której promienie α wywołują jonizację, jest ściśle określona, i że ten największy odstęp jonizacji jest dla danego ciała, czy produktu promieniotwórczego ściśle charakterystyczny. Badanie tych zakresów jonizacji cząstkami α , różnych dla różnych ciał, ma bardzo doniosłe znaczenie, a otrzymane tą drogą wyniki wnoszą nowe światło, ułatwiające poznanie natury cząstek α , ich własności, jak działania fotograficznego i fluorescencyjnego. Znając zakresy jonizacji pewnych promieni, możemy łatwo obliczyć*) prędkości tych promieni, co z kolei ułatwia wyznaczenie ich masy.

*) Patrz Rutherford, Phil. Mag. Aug. 1906, p. 140

Z drugiej strony wyznaczenie doniosłości rzutu cząstek α daje nową metodę do charakteryzowania względnie rozpoznawania ciał, które je wysyłają. Możemy w ten sposób również stwierdzić występowanie nowych produktów, wytworzonych po pewnym czasie przez ciała badane.

Doniosłości rzutu cząstek α produktów aktywności wyznaczał pierwszy doświadczeniowiec Hahn³⁵⁾ w Montreal. W doświadczeniach swych posługiwał się on dobrze znaną metodą Bragga.

Krzywa jonizacji promieni α , wysyłanych przez AcB, uwidoczona jest na fig. 9-ej.



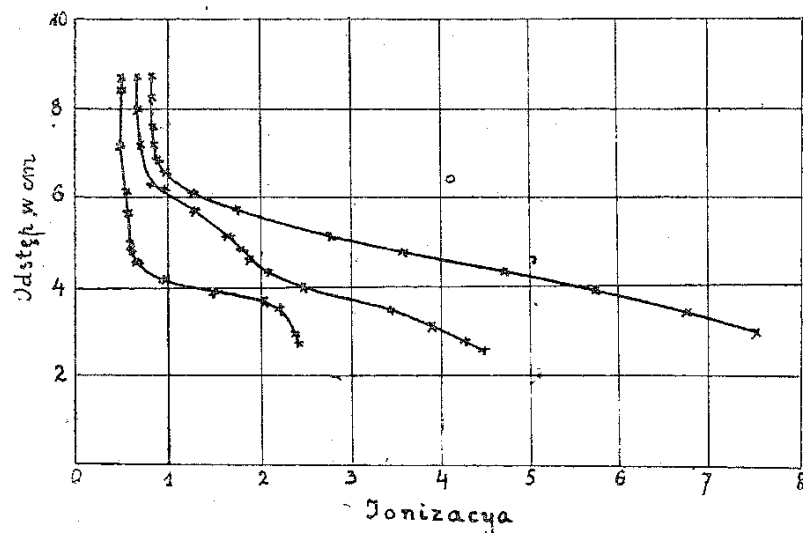
Krzywa, jak widać, przedstawia promieniowanie zupełnie jednorodne. Jonizacja zaczyna się w odstępnie 5.5 cm., wzrasta następnie szybko aż do maksimum w odstępnie 3.6 cm., poczem zmniejsza się dla mniejszych odległości od źródła. Ponieważ badano jonizację aż do odstepu 1 cm. między kondensatorem mierniczym a drutem naaktywowanym, stanowiącym źródło promieni, a krzywa nie okazała nieregularności, przeto można wykluczyć możliwość istnienia drugiego typu promieni α . Nie ma przeto w szeregu aktywności drugiego produktu po AcB, któryby również wydzieliał cząstki α . Geiger znalazł⁷⁸⁾ doniosłość rzutu dla aktywności B równą 5.4 cm.

Doniosłość rzutu cząstek α emanacji aktywności badał Hahn metodą fluorescencyjną. Prąd powietrza, unoszący emanację, przepuszczano przez płaskie pudełko zamknięte cienką płytką miki, której zdolność hamująca poprzednio wyznaczono. Ponad pudełkiem umieszczono ekran, powleczony siarczkiem

cynku. Odstęp, przy którym scyntylacje były jeszcze widoczne, z uwzględnieniem poprawki, wynikającej z hamowania w mierce, i 0,3 cm., jako różnicy metody fosforescencyjnej i elektrycznej, przyjęto za doniosłość rzutu cząstek α emanacji. Odstęp ten poprawiony wynosił 5,8 cm. Geiger⁷⁸⁾ otrzymał na tę doniosłość rzutu wartość 5,7 cm., ale prócz tego stwierdził, że krzywa jonizacji wykazuje niejednorodność promieni. Bliższe badanie tej krzywej wykazało niezaprzeczenie istnienie drugiego rodzaju promieni α o doniosłości rzutu 6,5 cm. Te promienie należą do produktu nadzwyczaj szybko przemiennego, powstającego z emanacji, produktu AcA_0 .

Hahn wyznaczył także doniosłości rzutu cząstek α radioaktywnu i aktywnu X, przyrządziwszy z tych preparatów nadzwyczaj cieniutkie warstewki. Znalazł

fig. 10.



mianowicie doniosłość rzutu radioaktywnu równą 4,8, a aktywnu X — 6,55 cm. Krzywa jonizacji radioaktywnu, bezpośrednio po jego przyrządzeniu, a więc wolnego od AcX i produktów następnich, przedstawiona jest jako krzywa a na fig. 9.

Bliższe badania krzywych jonizacji, prowadzone przez Geigera, wykazały, że doniosłość rzutu 6,55 cm., znaleziona przez Hahna w preparacie aktywnu X, należy nie do cząstek α aktywnu X, ale do cząstek szybko przemiennego produktu AcA_0 . Dla AcX znalazł natomiast Geiger wartość 4,4, która w doświadczeniach Hahna nie uwidoczniła się, ze względu na to, że w preparatach AcX i emanacji i produkt A_0 były zawsze obecne.

Badając krzywe jonizacji produktów, możemy śledzić powstawanie z biegiem czasu produktów pochodnych, które powstają z badanego produktu.

Interesujący obraz tego badania przedstawia fig. 10-ta, podana według Hahna. Krzywa a przedstawia jonizację, wywołaną przez radioaktywny wolny od produktów następnich, a więc bezpośrednio po przyrządzeniu. Jest to krzywa normalna produktu, dającego jednorodne promienie α o doniosłości rzutu 4,8 cm. Krzywa b otrzymana została z tego samego preparatu po 4 dniach, a c po 21 dniach. Jak widać, promienie o doniosłości 6,5 występują już w krzywej b , a w krzywej c nawet tak wyraźnie, że pokrywają inne promienie. To wskazuje wytworzenie produktu A_0 , który powstaje z AcX i emanacji. Tą drogą możemy stwierdzić założenie, przyjęte na podstawie innych obserwacji, według których można było przypuścić, że AcX powstaje z radioaktywnu. Że istotnie pojawiające się promienie o doniosłości rzutu 6,5 w krzywych b i c pochodzą od produktu związanego z AcX i z niego dopiero pośrednio powstającego, można było stwierdzić jeszcze następującą drogą: Jeśli preparat aktywnu dawniejszy, wykazujący krzywą jonizacji jak krzywa c , rozpuszczono w kwasie wolnym i strącono amoniakiem, okazało się, że krzywa jonizacji była znowuż typu krzywej a , wykazującej tylko promienie o doniosłości rzutu 4,8. Tą drogą bowiem usunięto z preparatu aktywnu X, a tem samym także i oba krótkotrwałe produkty.

Jak z tego wynika, możemy przy pomocy krzywych Bragga stwierdzać pojawianie się czy nieobecność pewnych produktów α aktywnych, zyskujemy więc na tej drodze nowy środek promieniotwórczej analizy.

Zbierając rezultaty liczbowe, otrzymane przez Hahna i Geigera, otrzymujemy następujące wartości doniosłości rzutu cząstek α produktów aktywnu:

Radioaktywn	4,8
Aktywn	4,4
Emanacja	5,7
Aktywn A_0	6,5
Aktywn B	5,4

Stąd widzimy, że ogólnie doniosłości rzutu są tem większe (wyjątek stanowi AcX), im krótszy czas transformacji. Empirycznie ustanowione⁸²⁾ równanie

$$\log \lambda = a + b_0 \log r,$$

streszczające w sobie związek między stałą transformacji a doniosłością rzutu (r) dość dobrze się stosuje w przypadku aktywnu, podobnie jak i innych ciał promieniotwórczych.

Wartość stosunku $\frac{e}{m}$, t. j. naboju elektrycznego do masy cząstek α aktywnu B, obliczał Rutherford⁸³⁾ na podstawie pomiarów odchylenia tych promieni w polu elektrycznym i magnetycznym. Jako źródła promieniotwórczego Rutherford używał płytki miedzianej, wystawionej w ciągu całego

doświadczenia na działanie emanacji. Promienie α , wysłane z aktywności B, złożonego na powierzchni płytki, przeszedłszy cieniutką płytkę miki, padały na płytę fotograficzną, wystawioną na ich działanie przez kilka godzin. Cały aparat (wypróżniony) umieszczony był w silnym polu magnetycznym, którego kierunek odwracano co 10 minut. To samo doświadczenie powtarzano następnie w identycznych warunkach, używając jako źródła promieniotwórczego płytki, powleczonej warstwą RaC.

W jednym z doświadczeń odstęp między liniami, odchyleniemi na płycie fotograficznej, wynosiły w przypadku AcB 1.85 mm., w przypadku zaś RaC 1.53 mm. Znalaziono poprzednio, że wartość stosunku $\frac{mu}{e}$ dla cząstek α radu C, które przeszły płytkę miki o zdolności hamującej równoważnej z 3.5 cm. powietrza, wynosi $3 \cdot 10 \cdot 10^5$. Stąd otrzymujemy dla cząstek α aktywności B

$$\frac{mu}{e} = \frac{1.53}{1.85} \cdot 3 \cdot 10 \cdot 10^5 = 2.56 \cdot 10^5.$$

W tym samym aparacie wyznaczano następnie odchylenie promieni α w polu elektrycznym o znanym natężeniu, skąd znaleziono

$$\frac{m \cdot u^2}{e} = 3 \cdot 1 \cdot 10^{14}.$$

Z porównania zaś tych równań wynika:

$$\frac{e}{m} = 5.07 \cdot 10^3,$$

a więc wartość podobna jak dla cząstek α innych ciał promieniotwórczych.

Potwierdzenie tego faktu znalazł Rutherford i inni obliczeniem.

Jak widać z liczb powyżej podanych, stosunek prędkości promieni α RaC i AcB, po przejściu przez płytkę miki o zdolności hamującej równoważnej z 3.5 cm. powietrza, był równy 1.21. Rutherford oblicza wartość tego stosunku, bezpośrednio znaną w tych doświadczeniach, jeszcze inną drogą, przyjmując z góry, że masy cząstek α w obu przypadkach są równe.

Doniosłość rzutu cząstki α AcB po przejściu płytki miki wynosi $5.5 - 3.5 = 2.0$, zaś RaC $7.06 - 3.5 = 3.56$.

Na tej podstawie, według wzoru ogólnego, stosunek prędkości tych cząstek powinien być równy

$$\sqrt{\frac{3.56 + 1.25}{2.0 + 1.25}} = 1.22.$$

Wartość ta zgadza się doskonale z doświadczeniem, co wskazuje prawdziwość założenia, że masy cząstki α AcB i RaC są te same.

Tego samego ważnego faktu dowodzi i wartość stosunku $\frac{e}{m}$, znaleziona bezpośrednio z odchylenia w polu elektrycznym, wartość w granicach błędów doświadczalnych identyczna z wartością analogiczną dla cząstki α RaC. Ta identyczność wykazuje jeszcze raz związek między cząstkami α i atomami helu, związek, który potwierdza przypuszczenie produkcji helu przez rad i aktywności.

Badania absorbcji promieni α , dokonane przez Meyera i Schweidlera³⁴⁾, wykazały, że spadek aktywności α po przejściu przez dane grubości materii, nie da się przedstawić prostą krzywą wykładniczą. Promienie α stają się coraz mniej przenikliwe w miarę, jak przechodzą coraz dalsze warstwy materii. Na skutek tego t. zw. stała absorbcji

$$\lambda = - \frac{1}{J} \frac{dJ}{dx},$$

gdzie x jest przebyta grubością, nie ma wartości stałej, ale rośnie z rosnącym x . Tablica VII podaje związek między aktywnością α (J) aktywności (B), stałą (λ) i grubością (x) płytki aluminiowej absorbującej.

TABLICA VII.

x w cm. 10^{-4}	J	$\lambda \cdot 10^{-4}$ cm $^{-1}$
0	100.0	0.080
4	83.2	0.103
8	63.1	0.120
12	43.2	0.150
16	27.2	0.190
20	15.7	0.255
24	8.13	0.295
28	3.63	0.450
32	1.12	1.1
36	0.166	—

Widzimy z tej tablicy, że płytka aluminiowa o grubości $32 \cdot 10^{-4}$ cm. pochłania praktycznie wszystkie promienie α aktywności B. Absolutne wartości λ wskazują, że promienie α aktywności są bardziej przenikliwe niż uranu, ale mniej niż toru B lub RaC. Da porównania podajemy tablicę VIII, w której λ_0 przedstawia współczynnik absorbcji dla $x=0$, a grubość płytki aluminiowej pochłaniającej wszystkie promienie α .

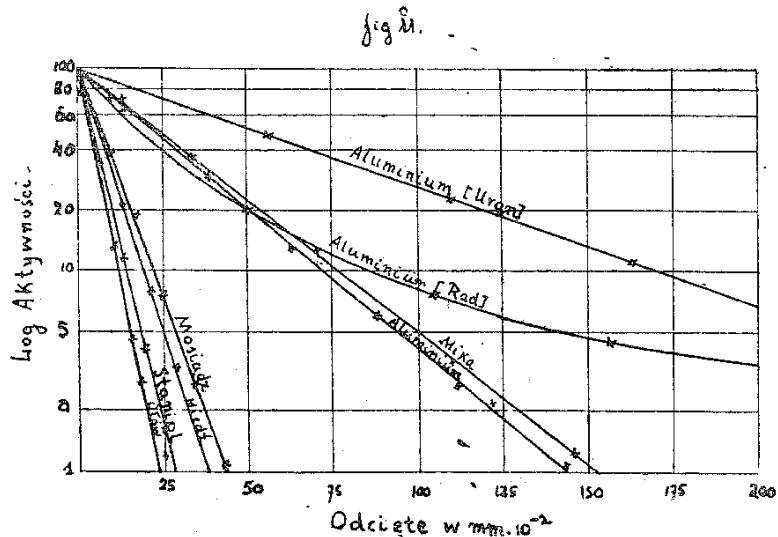
TABLICA VIII.

Substancja	Uran	Polon	Aktyń B	Tor B	Rad C
$\lambda_0 \text{ cm}^{-1}$	3100	1050	900	500	400
$\sigma \text{ w cm } 10^{-4}$	10	28	32	40	45

Jak widać z tej tablicy, aktyń B zajmuje co do przenikliwości swych promieni miejsce pośrednie pomiędzy innymi ciałami promieniotwórczymi.

Promienie β .

Zdolność przenikania promieni β aktynu badałem szczegółowiej²⁸⁾ przy pomocy pomiarów jonizacji, sprawianej przez te promienie po przejściu przez płytki różnej materii. Jonizacja mierzona była elektroskopem typu Wilsona. Wyniki przedstawia Fig. 11, w której rzędne są proporcjonalne do logarytmów aktywności, a odcięte do grubości płytki pochłaniającej. Celem zestawienia bezpośredniego umieszczone też są krzywe absorbcyi promieni β radu i uranu, badanych w tych samych warunkach.



Jak widać z figury, punkty znalezione doświadczalnie leżą na prostych. Równanie absorbcyi

$$J = J_0 e^{-\lambda x},$$

gdzie x jest grubością absorbującego metalu, okazało się zatem ściśle stosowne aż prawie do wartości J mniejszych niż $1\% J_0$. Ta ważność prawa wykładniczego absorbcyi wskazywałaby jednorodność promieni β aktynu; wnosząc stąd dalej można, że zdolność przenikająca tych promieni nie zależy od długości drogi przez nie przebytej. W przypadku radu rzecz przedstawia się (jak widać z figury) odmiennie. Aktywność nie zmniejsza się wykładniczo z grubością materii przebytej, a współczynnik absorbcyi zmniejsza się szybko z długością drogi przebytej.

Jednorodność promieni β aktynu wskazywał także później i Debiere³⁰⁾, na podstawie swych obserwacji. Zauważył on, że promienie β aktynu nie doznają w polu magnetycznym rozszczepienia, jak np. promienie radu, ale dają wiązkę, ostro i ściśle także i po odchyleniu zdefiniowaną.

Późniejsze dokładne badania wykazały jednak, że promienie β aktynu nie są ściśle jednorodne, lecz składają się z trzech grup o bardzo rozmaitej przenikliwości. Używając nadzwyczaj cienkich filtrów absorbujących, Hall i Meitner⁵⁸⁾ stwierdzili, że linia, przedstawiająca absorbcję promieni β aktynu, przy samym początku jest załamana ku górze i dalej dopiero biegnie jako prosta z pochylem jak na Fig. 11-ej. Początkowy przebieg tej prostej, który łatwo usuwa się z pod spostrzeżenia, jeśli użyjemy początkowego filtru grubszego, pochodzi od bardzo mało przenikliwych promieni β . Jak bliższe badania wykazały, promienie te łatwo pochłaniane pochodzą od radioaktywności. W świeżo przyrządzonym preparacie radioaktywności występują prawie wyłącznie tylko te miękkie promienie. Do połowy są one pochłonięte już w płytce aluminiowej o grubości 0.04 mm, podczas gdy promienie AcC zmniejszają się dopiero po przejściu 0.21 mm do połowy.

Badania tych samych autorów⁵⁸⁾ nad β aktywnością aktywnego depozytu wykazały i tu promienie złożone. Przez odpowiednią analizę krzywych absorbcyi autorowie ustalają fakt, że i AcA wydaje promienie β , jakkolwiek jeszcze znacznie silniej pochłanialne niż nawet promienie β radioaktywności. Podobne odstępstwa od prawa wykładniczego absorbcyi na samym początku krzywych znalazł także i Schmidt³¹⁾. Odstępstwo w szczególności w przypadku ołowiu występowało wyraźniej.

Ze względu na te uzupełniające badania należy zwrócić uwagę na fakt, że krzywe absorbcyi, znalezione przezemnie i uwidocznione na Fig. 11-ej, przedstawiają ściśle i poprawnie absorbcję promieni β , ale nie wszystkich produktów aktynu, tylko aktynu C. To samo odnosi się oczywiście i do współczynników absorbcyi obliczonych na podstawie tych krzywych.

Promienie β aktynu charakteryzują się ogólnie wyjątkowo małą przenikliwością. Bliższe poznanie stałych absorbcyi wykazuje, że nawet najtward-

³¹⁾ Phys. Zeit. S, 737—742.

sze promienie β , a więc promienie AcC są pochłaniane dwa razy łatwiej niż promienie β uranu, a około 3 razy łatwiej niż średnie promienie radu. Jedyne promienie radu są bardzo rozmaite. Jak widać z Fig. 9-ej, początki krzywej absorbcji promieni radu r aktywność C są prawie te same, co wskazuje, że najmniej przenikliwe promienie radu i promienie aktywność C nie różnią się od siebie.

Wartości współczynników absorbcji λ dla różnych badanych substancji i grubości L , pochłaniające połowę promieni, są podane w tablicy IX-ej.

TABLICA IX.

Substancja pochłaniająca	Aktywność C			Uran			Rad		
	L w 10^{-2} mm.	λ^{-1} cm.	λ $\frac{\lambda}{d}$	L w 10^{-2} cm.	λ^{-1} cm.	λ $\frac{\lambda}{d}$	L w 10^{-2} mm.	λ^{-1} cm.	λ $\frac{\lambda}{d}$
Glin . . .	21.2	32.7	12.9	49.5	14.0	5.4	59.7	11.6	4.30
Mika . . .	21.0	33.0	12.0	40.3	17.2	5.1	64.2	10.8	3.94
Mosiądz . .	6.5	10.8	13.1	—	—	—	—	—	—
Miedź . . .	6.3	11.0	12.8	11.6	6.0	7.0	14.1	49.2	5.50
Staniol . .	4.5	15.4	15.7	—	—	—	—	—	—
Ołów . . .	4.25	16.3	14.1	5.6	12.2	10.8	11.1	62.5	5.78

Dla zestawienia pomieszczono analogiczne wartości dla radu i uranu według doświadczeń Rutherforda i Strutta.

Zestawienie wartości $\frac{\lambda}{d}$, gdzie d oznacza gęstość absorbującej substancji, wskazuje, że prawo Lenarda stosuje się dość ściśle, nawet znacznie ściślej w przypadku aktywność, niż radu lub uranu.

Ze względu na wyjątkowo silną absorbcję promieni β aktywność przy przejściu przez materię, Kleemann⁷²⁾ przypuszczał, że można będzie stwierdzić pewną różnicę w jonizacji, sprawianej w różnych gazach przez promienie β aktywność i uranu. Doświadczenia, wykonywane w powietrzu, wodrze, chlorku i bromku metylu i jodku metylu, okazały jednak, że jonizacja tych gazów w stosunku do jonizacji w powietrzu była identyczna pod wpływem promieni aktywność i uranu. Geiger i Kovářik⁸⁰⁾ przez odpowiednie pomiary jonizacji wyznaczali względne ilości jonów, wytworzonych przez promienie β różnych ciał promieniotwórczych. Liczbę atomów, wysyłających cząstki β przy swej transformacji, obliczali w każdym przypadku z liczby cząstek α , wysłanych w tym czasie przez produkt macierzysty, będący z danym produktem w równowadze promieniotwórczej. Rezultaty otrzymane wskazują wyraźnie, że AcC

podobnie jak ThC i RaB wysyłają przy swej transformacji po dwie cząstki β , a więc dwa razy tyle jak RaE lub UrX. W tym założeniu otrzymują autorowie rezultat, że liczba jonów, wytworzona przez jedną cząstkę β o wielkiej prędkości wzdłuż drogi 1 cm. powietrza o ciśnieniu atmosferycznym jest 67.

Promienie γ .

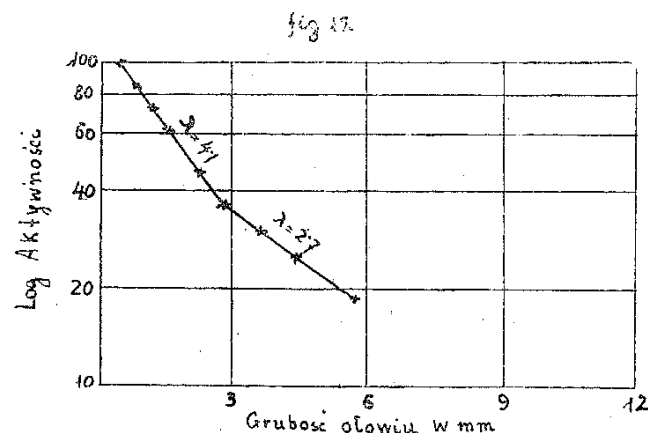
Aktywność wysyła, prócz promieni β , także i promienie γ , a więc promienie względnie silnie przenikliwe i nie odchylające się w polu magnetycznym. Zdaje się nie ulegać wątpliwości według danych dzisiejszych, że promienie γ powstają tylko przy przemianie aktywność C .

Russell i Soddy badali szczegółowo⁷⁴⁾ stosunek jonizacji, sprawionej przez promienie β i γ dla różnych substancji promieniotwórczych. Stosunek ten jest—ogólnie biorąc—i dla pewnej danej substancji nie zupełnie stały, wartość jego zależy w dość dużym stopniu, jak się okazuje, od warunków doświadczalnych, a więc od odległości preparatu i od natury i grubości pierwszych absorbujących ekranów. Robiąc jednak pomiary z różnymi substancjami promieniotwórczymi w warunkach możliwie identycznych, mogli oni otrzymać wartości, które można było ze sobą zestawić i porównać. Tą drogą przekonali się, że wartość tego stosunku jonizacji, sprawionej przez promienie β i γ , jest dla różnych substancji różna. W przypadku AcC stosunek ten miał wartość około 12 razy mniejszą, niż w przypadku RaC.

Badaniami absorbcji promieni γ aktywność zajmowałem się²³⁾ jeszcze w r. 1905 przy pomocy odpowiednich pomiarów sprawionej przez nie jonizacji. Mając do rozporządzenia preparat stosunkowo słaby (300 jedn. ur.), nie mogłem rozciągnąć pomiarów poniżej wartości około 30% początkowej aktywności. Znalazłem, że mniej więcej aż do tej wartości jonizacja zmniejszała się z grubością materii, przebytą według prawa prawie wykładniczego. Zwracałem już wtedy uwagę na to, że należałoby rozszerzyć te doświadczenia, używając silniejszego preparatu. W tym duchu poprowadził dalej doświadczenia Eve³²⁾, który przekonał się, że prosta, przedstawiająca zmianę logarytmu jonizacji z grubością materii absorbującej, około wartości 35% doznaje załamania ku górze. Wskazuje to istnienie dwu grup promieni γ , mniej i bardziej przenikliwych. Wyniki tych doświadczeń Eve'a przedstawione są na Fig. 12-ej, gdzie rzędne podają logarytmy aktywności, odcięte grubości absorbującej materii.

Badania Russell'a i Soddy'ego⁷⁴⁾ pozwalają przypuszczać, że można będzie stwierdzić jeszcze inne, jeszcze silniej przenikliwe promienie, choć w bardzo małej ilości. Ogólnie tedy możemy skonstatować istnienie przynajmniej dwu grup promieni γ , bardziej i mniej przenikliwych.

Podobnie jak promienie β , charakteryzują się promienie γ aktynu w porównaniu z promieniami γ innych pierwiastków promieniotwórczych stosun-



kowo słabą przenikliwością. Jak przekonałem się przez pomiary współczynników absorpcji²⁶⁾, są one około 5 razy łatwiej pochłaniane, niż średnie promienie radu.

Wyniki pomiarów przedstawia tablica X, w której L oznacza grubość materii absorbującej połowę γ promieni, λ stałą absorpcji, d gęstość substancji absorbującej.

TABLICA X.

Substancja pochłaniająca	Aktyn			Rad					
	L w mm.	λ^{-1} cm.	$\frac{\lambda}{d}$	mniej przenikliwe			bardziej przenikliwe		
				L mm.	λ^{-1} cm.	$\frac{\lambda}{d}$	L mm.	λ^{-1} cm.	$\frac{\lambda}{d}$
Zelazo . . .	5.70	1.23	0.16	—	—	—	—	—	—
Cynk . . .	5.60	1.24	0.17	24.6	0.28	0.039	2.89	0.24	0.033
Ołów . . .	1.92	3.62	0.31	10.8	0.64	0.056	15.8	0.44	0.037

W przypadku aktynu współczynniki są podane dla promieni γ mniej przenikliwych. Dla porównania dodane są wartości analogiczne dla promieni γ radu według Mc Clellanda. Późniejsze doświadczenia Russella i Soddy'ego⁷⁴⁾ nad absorpcją promieni γ aktynu potwierdziły istotnie wyjątkowo słabą przenikliwość tych promieni zarówno jak i anormalnie silną absorpcję w ołowiu.

Wytwarzanie helu z aktynu.

Jednym z najbardziej interesujących rezultatów badań ciał promieniotwórczych było otrzymanie helu z emanacji radowej; ten fakt pierwszy naczyniście uwiłocznitł przekształcanie się materii w jej prostych formach. Jak wiadomo, przypuszczano początkowo, że hel jest ostatnim produktem przekształcenia radu. Ale przypuszczenie to wydawało się nieprawdopodobnem odrazu, już choćby z tego względu, że wśród produktów radu mamy RaD, produkt bardzo powolny. Rutherford ostatecznie udowodnił, że cząstki α należy uważać za atomy helu, noszące na sobie podwójny dodatni nabój elektrobowy. W myśl tego, należałoby przyjąć, że atomy ciał promieniotwórczych przedstawiają pewnego rodzaju szczególne molekularne połączenia atomów ciał znanych czy nieznanych z helem. Podobieństwo (masa identyczna) cząstek α , wydawanych przez wszystkie ciała promieniotwórcze, przemawia silnie za tem przypuszczeniem. W myśl tej hipotezy, wszystkie ciała promieniotwórcze powinny by przeto helium produkować i to w ilości tem większej, im które silniej jest α aktywne.

Otóż najsilniej aktywnem ciałem (po radzie) jest aktyn. Z niego powinno być tedy najłatwiej otrzymać hel. Istotnie Debierne²⁷⁾ potrafił stwierdzić, że aktyn hel produkuje.

W doświadczeniach swych używał Debierne wszystkich swych najsilniejszych preparatów aktynu, częściowo w formie rozpuszczonych chlorków, częściowo jako wysuszonych fluorków. Roztwór aktynu produkował stale, podobnie jak roztwór radu, mieszaninę wybuchającą w dość dużej ilości i o aktywności porównywalnej z aktywnością mieszaniny gazów z nad roztworu radu. Gazy, wywiązane z roztworu aktynu, wprowadzono do rury szklanej, zawierającej substancje pochłaniające gazy czynne. Pozostałe gazy wciśnięto do wąskiej kapilary, opatrzonej elektrodami platynowemi. Linie helu, które wystąpiły niebawem, były tak wyraźne, że można je było z zupełną pewnością zidentyfikować i przez obserwację i drogą fotografii.

Aktyn i eman. Stosunek aktynu do innych ciał promieniotwórczych.

Liczne doświadczenia ostatniego lat dziesiątka stwierdziły dowodnie, że stałe transformacji produktów promieniotwórczych są dla nich ściśle charakterystyczne, podobnie jak np. linie widmowe w Analizie spektralnej. Otóż widzieliśmy, że aktyn daje początek całemu ściśle zdefiniowanemu szeregowi przemian swych produktów pochodnych, z których każdy charakteryzuje się

ściśle okresem swej przemiany. Zarówno te stałe, jak właściwe aktywności zjawiska fosforescency, jak promienie przekształcających się produktów, mające naturę odmienną, dla aktywności właściwą, pozwalają nam przyjąć, że aktywność jest nowym samodzielnym pierwiastkiem. To założenie jest uzasadnione tylko własnościami promieniotwórczymi, nie chemicznymi czy spektroskopowymi, bo te są nam jeszcze całkowicie nieznane.

Przejdźmy teraz do pytania, czy aktywność i emanacja są identyczne. Możliwość tej identyczności podniósł pierwszy sam Giesel⁵⁾, następnie dyskutowano tę kwestię obszernie i wielokrotnie⁶⁾, dziś jednak nie może ona ulegać już wątpliwości.

Jeśli nazywamy aktywność ciało o względnie stałej promieniotwórczości, które wydaje produkty powyżej opisane, charakteryzujące się przez podane okresy swych transformacji, ciało wysyłające promienie α o podanych doniosłościach rzutu, a promienie β i γ mało przenikliwe, wtedy nie spostrzegamy między aktywnością a emanacją ani jednej różnicy. Następstwo produktów jest to samo, ich okresy przemian równe. Hahn i Sackur²³⁾ mierzyli stałe zamierania aktywności i emanacji i aktywnego depozytu aktywności Debierne'a i emanacji Giesela w identycznych warunkach i zaznaczają wyraźnie, że różnice znalezione leżą w granicach błędów doświadczalnych. Debierne i Giesel uważali wspólnie te same zjawiska fosforescency na swych preparatach. Stałe absorpcji promieni β i γ obu ciał okazały się identyczne, podobnie doniosłości rzutu cząstek α .

Widzimy przeto, że we własnościach promieniotwórczych obu ciał—a te tylko mogą tu być miarodajne—nie znaleziono ani jednej różnicy, identyczność więc pod tym względem jest zupełna. Trzeba dalej pamiętać o tem, że, jeśli charakteryzujemy pewne ciało jako odrębny pierwiastek na podstawie jego własności promieniotwórczych, to zestawiać i porównywać je z innymi możemy i mamy prawo tylko co do tych własności. Zapominając o tem, dochodzimy do rażącego błędów.

Marckwald²⁴⁾ porównywał aktywność z emanacją, opierając się na metodach oddzielenia chemicznych i doszedł do wniosku całkowicie błędnego, starając się dowieść, że ciała te są od siebie odmienne, a stoją w związku genetycznym. Ziemię szlachetną otrzymaną po wydzieleniu radu przeprowadził Marckwald w chlorki, i wydzielił tor z nich tiosiarczanem. Tor, w ten sposób otrzymany i dalej oczyszczony, wydawał dużą ilość krótkotrwałej emanacji. Po kilku miesiącach okazało się wszelako, że tor utracił zarówno swą zdolność emanacyjną, jak i prawie całą swą aktywność. Tymczasem tlenki lantanu i dydymu, z wśród których tor usunięto, a które początkowo bardzo

*) Patrz 14, 15, 16, 21.

słabo emanowały, odzyskały z biegiem czasu swą zdolność emanacji i to z podobną szybkością jak ją tor tracił.

Na tej podstawie doszedł Marckwald do wniosku, że „aktywność i emanacja nie są identyczne“, ale stoją w genetycznym związku wzajemnym. Emanacja, ciało idące z lantanem, produkuje aktywność, ciało idące z torem“. Otóż rezultat ten jest błędny i polega na niezrozumieniu, i częściowym pomieszaniu nazw substancji.

Doświadczenia Marckwalda wykazują wyraźnie, że ciało, idące za lantanem, wytwarza ciało idące za torem. Tylko to ostatnie nie jest aktywność. Dziś wiemy, że ciało to jest radioaktywność. Radioaktywność nie był jeszcze znany, gdy Marckwald robił swe doświadczenia. Ale już wówczas można było dostrzedz, że wniosek Marckwalda jest mylny i że tu chodzi o jeden ze znanych lub nieznanych produktów. Jeszcze przed pracą Hahna co do radioaktywności zaznaczyłem to wyraźnie³⁰⁾ i zwróciłem na to uwagę, że aby się przekonać, jaki to jest produkt, należało zbadać czas zamierania jego aktywności, ogólnie jego promieniotwórcze własności, czego Marckwald nie uczynił. Marckwald przypuszczał, że ciało, idące za torem, jest aktywność, albowiem aktywność Debierne'a był zbliżony co do analitycznych własności do toru. Lecz ta okoliczność nie stanowi jeszcze dowodu. Aktywność bowiem nie nazywamy ciałem, idącym za torem i czasowo tylko aktywność, ale trwałe aktywność, mające omówione powyżej własności promieniotwórcze. Nie może być więc aktywność, które aktywność swą w miesiącu traci. Tylko zidentyfikowanie własności promieniotwórczych mogłoby umożliwić zidentyfikowanie ciała z aktywnością.

Podobne nieporozumienia będą się często powtarzały, jeżeli będziemy uważali ciała, czy produkty promieniotwórcze z punktu widzenia czysto chemicznego. Nie powinniśmy zapominać o tem, że własności chemiczne tych ciał prawie wcale nie znamy. Produkty te możemy koncentrować; do tego prowadzą nas jednak nie teoretycznie uzasadnione metody, ale tylko pewne przepisy doświadczalnie znalezione; analityczne jednak charakterystyczne własności, jak np. granice rozpuszczalności tych ciał, pozostają właściwie nieznane. Często podaje się np. jako własności ThX lub AcX rozpuszczalność tych ciał w amoniaku, ponieważ przy strąceniu toru lub aktywności przechodzą do osadku. Tymczasem należy tu słowa „rozpuszczalny“ używać z pewną rezerwą i nie rozumieć go w znaczeniu dosłownem, zwykle używanem. Ściśle biorąc, możemy powiedzieć na podstawie doświadczenia tylko tyle, że ThX lub AcX nie zostają porwane przez strącające się wodorotlenki. Czy zaś te substancje są rozpuszczalne czy nierozpuszczalne, tego właściwie nie wiemy. Jesteśmy tu poniżej wszelkiej dającej się zmierzyć koncentracji, a w porównaniu do takich roztworów np. siarczan barowy jest masowo w wodzie roz-

puszczalny. Gdyby przecież nawet Th czy AcX były istotnie absolutnie w amoniaku nierozpuszczalne, to jednak przy strąceniu odnośnych wodorotlenków (gdyby nie były przez nie porwane), nie pozostałyby z nimi, choćby dlatego, że nie mamy takich filtrów, któreby zatrzymały pojedyncze molekuly. Oddzielenie amoniakiem nie stanowi właściwie charakterystycznej analitycznej własności dla ThX lub AcX; polega ono nie na „nie strąceniu“, ale na „nieporwaniu“, a to porwanie zmienia się zależnie od ciała, w większych ilościach strącanego.

Liczne doświadczenia, czynione nad sztucznie udzielaną ciałom aktywnością (np. przez sztuczne strącenie), wykazały wyraźnie, że kierunek tych, jeśli można się tak wyrazić, reakcyj nie zależy od natury rozpuszczalnika, ale od ciała strącanego w większej, wagowej ilości. W obecności pewnych ciał strącanych, pewne produkty zostają z nimi razem porwane, ale nie razem stręcane.

To samo, co o produktach promieniotwórczych, możemy, oczywiście, powiedzieć i o ich substancjach macierzystych, tak długo dokąd znajdujemy je tylko w tak małych ilościach, że usuwają się nietylko z pod badania chemicznego, ale i spektroskopowego. Tak się rzeczy mają właśnie w przypadku aktynu i emanu. O własnościach chemicznych tych ciał nie możemy właściwie ani mówić, ani ich ze sobą porównywać, albowiem z tych własności nie znamy dokładnie ani jednej. Do porównania i zestawienia pozostają nam tedy tylko ich własności promieniotwórcze, a te, jak widzieliśmy, są u obu ciał te same. Na tej podstawie możemy powiedzieć, że jakiegokolwiek różnice znaleziono, lub jakiegokolwiek znaleźć się mogą pod względem chemicznym, spektroskopowym, czy innym, byle nie promieniotwórczym, pomiędzy „ciałem emanującym“ Giesela a preparatami Debierne'a, zawierającymi aktyn, mimo tych różnic, eman pozostaje identyczny z aktynem.

Nasuwa się nakoniec jeszcze jedno pytanie. Wiemy, że ciała promieniotwórcze, ciała, które wydając promienie, przekształcają się, nie są wieczne i trwałe, ale powstają i giną. Można by się zapytać, jak długie jest t. zw. średnie życie samego aktynu, jaki jest jego okres transformacji, a dalej z czego powstaje i na co się przemienia. W przypadku radu znaleziono np. okres jego transformacji i to różnymi drogami, z objętości emanacji, liczby cząstek α wysłanych, z wydanej ilości ciepła, wreszcie ze stosunku radu i uranu w różnych minerałach. Wartości, obliczone temi różnymi drogami, były zgodne. W przypadku aktynu znalezienie okresu transformacji na podstawie dzisiejszych dat doświadczalnych jest jeszcze dotychczas niemożliwe. Pierwszy krok celem bezpośredniego wyznaczenia okresu przemiany aktynu zrobiła pani Curie⁷⁹⁾ przez systematyczne pomiary aktywności aktynu w ciągu lat. Jakkolwiek pomiary te prowadzone są od czasu stosunkowo niedawnego i wyniki okazały się dość nieregularne, przecież można było stwierdzić po upływie

trzech lat spadek aktywności, wynoszący około 10%. Jeśli ten spadek nie pochodzi od jakiegoś produktu pośredniego pomiędzy aktynem a radioaktywnym, który mógł się znajdować w nadmiarze w badanym preparacie, rezultat ten wskazywałby, że okres transformacji aktynu byłby stosunkowo dość szybki i byłby (dla przemiany do połowy) rzędu wielkości około 30 lat. Czy tak jest, dalsze doświadczenia rozstrzygną.

Co się tyczy drugiej części pytania poruszonego, a więc z czego aktyn powstaje i na co się ostatecznie przemienia, to nie umiemy na to prawie wcale odpowiedzieć. Puszkiwań i badań w tym kierunku robiono bardzo wiele. Szczególniej badano starannie, czy nie możnaby znaleźć związku między aktynem i innymi ciałami promieniotwórczymi. Szereg następujących doświadczeń zdawał się wskazywać związek między aktynem a radem. Boltwood⁴⁰⁾ wydzielił z 1 kg. karnotytu o 20%-ej zawartości uranu, przez zastosowanie odpowiednich metod całą ilość aktynu w formie chlorków. Roztwór tych chlorków przechowywał przez dwa miesiące w balonie hermetycznie zamkniętym. Po upływie tego czasu wprowadził gazy i emanacje z nad roztworu do elektroskopu, w którym badał ich aktywność. Aktywność emanacji odpowiadała $5 \cdot 7 \cdot 10^{-9}$ gramom radu w roztworze aktynu. Powtórzywszy to samo doświadczenie po dalszych 193 dniach, znalazł ilość emanacji radowej, odpowiadającą $14 \cdot 2 \cdot 10^{-9}$ gramom radu w tymże roztworze. Według tego badany roztwór aktynu produkowałby w 193 dniach $8 \cdot 5 \cdot 10^{-9}$ g radu, co odpowiada wytworzeniu $1 \cdot 6 \cdot 10^{-8}$ g radu w ciągu roku. Na tej podstawie, wiedząc, że z 200 gramami uranu, zawartymi w karnotycie, jest w równowadze $7 \cdot 6 \cdot 10^{-5}$ g radu można było obliczyć stałą transformacji radu. Wartość jej wypada $\lambda = 2 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \text{ lat}^{-1}$, a stąd okres przemiany do połowy 3100 lat, choć trochę większy, przecież rzędu zgodnego z tym, który oblicza się z innych dat doświadczalnych.

Oporając się na tych doświadczeniach, jak również na stwierdzonym fakcie, że ilość aktynu obecnego w różnych minerałach okazywała się proporcjonalna do ilości zarówno uranu jak radu, Boltwood przypuścił, że aktyn stanowi produkt pośredni między uranem a radem. Hypotezę tę zdawały się potwierdzać także pierwsze z doświadczeń Rutherforda⁴³⁾, który znalazł również, że rad tworzył się z preparatów aktynu, zarówno stałych jak w roztworze. Stała transformacji radu, obliczona z szybkości tej produkcji, była zgodna z wartością, znaną przez Boltwooda. Rutherford zwracał jednak uwagę na to, że wnioski, oparte na doświadczeniach, wykonanych w ten sposób, nie mogą być uważane za rozstrzygające, ponieważ jest rzeczą możliwą, że rad, niezaprzecalnie w tych doświadczeniach z preparatów aktynu wytwarzany, może się tworzyć nie z aktynu, ale z nowego ciała promieniotwórczego, którego od aktynu nie umiemy jeszcze oddzielić. Tylko otrzymanie radu z produktów aktywnego depozytu aktynu dałoby niezbity dowód, że rad

powstaje z aktynu. Wszystkie zaś doświadczenia, któreby miały wykazać powstawanie radu z produktów dalszych aktynu dały wyniki ujemne.

To przewidywanie Rutherforda okazało się zupełnie słuszne. Potwierdziła je następująca serya doświadczeń robionych wkrótce potem⁴⁶⁾ przez niego. Celem zupełnego uwolnienia roztworu aktynu od radu, strącał Rutherford kilkakrotnie aktyn z roztworu siarczkiem amonu. Filtrat, odsączony i strącony amoniakiem, dawał jeszcze osad aktynu silnie aktywny. Osad I otrzymany z siarczku amonu i II z amoniaku rozpuścił i badał oddzielnie w czasie 305 dni. Okazało się, że w części I-ej (aktywność 9900) z biegiem czasu występowała emanacja radowa, w ilości wskazującej na wytworzenie $2 \cdot 55 \cdot 10^{-9}$ g. radu w roku. Osad II-gi (aktywność 6000) nie okazywał żadnych śladów produkcji radu. Badania własności promieniotwórczych tego II-go osadu wykazały niezaprzeczenie, że aktywność jego pochodzi od aktynu. Doświadczenia te dają więc zupełny i pewny dowód, że rad nie z aktynu powstaje, ale z nowej substancji promieniotwórczej, która zwyczajnie aktynowi towarzyszyła. Substancję tę nazwano jonium. Liczne doświadczenia innych badaczy^{*)} potwierdziły zupełnie rezultaty, przez Rutherforda otrzymane, i wykazały, że nie aktyn, ale jonium należy uważać za bezpośrednią, macierzystą substancję radu. Boltwood opracował później dokładniej metodę⁷⁷⁾, przy pomocy której możemy ilościowo jonium od aktynu oddzielić.

W myśl tych rezultatów, związek genetyczny pomiędzy aktynem a radem, czy innymi ciałami promieniotwórczymi, pozostaje jeszcze nieznan.

TABLICA XI.

Produkt	Stała przemiany λ w sek ⁻¹	Okres przemiany do połowy	Rodzaj promieni	Doniosłość rzutu cząstek α w powietrzu	Spółczynnik absorbcyj promieni β w aluminium	Grubość płytki aluminiowej pochłaniającej połowę β promieni
Aktyn . . .	?	?	—	—	—	—
Radioaktyn .	4·1·10 ⁻⁷	19 5 dnia	α, β	4·8 cm	170 cm ⁻¹	0,004 cm.
Aktyn X . .	7·6·10 ⁻⁷	10·5 dnia	α	4·4 cm.	—	—
Emanacja	1·8·10 ⁻¹	3 9 sek	α	5·7 cm.	—	—
Aktyn A ₀ **)	329	0·0017 s.	α	6 5 cm.	—	—
Aktyn A **)	3·2·10 ⁻⁴	36 min.	β	—	—	—
Aktyn B **)	5 4·10 ⁻³	2 15 min.	α	5 4 cm.	—	—
Aktyn C **)	2·26·10 ⁻³	5 1 min.	β, γ	—	32·7 cm ⁻¹	0,021 cm.

*) Giesel⁴⁹⁾, Hahn⁵⁰⁾, Boltwood⁵¹⁾, Szillard⁶³⁾.

**) Patrz str. 129 i uwaga na tejsze stronicy.

Takie są w dzisiejszym stanie naszej wiedzy własności aktynu i jego produktów. Zestawienie tych własności, które omówiliśmy wyżej, podaje Tablica XI; produkty w niej ustawione są w tym porządku, w jakim wzajemnie z siebie postają.

Własności te promieniotwórcze aktynu i jego produktów są już dziś poznane i ściśle zdefiniowane. Nie znamy jednak prawie wcale własności chemicznych, a przedewszystkiem najważniejszej, t j. ciężaru atomowego. Liczne próby^{41), 75), 81)} znalezienia dla aktynu i jego produktów miejsca w układzie peryodycznym Mendelejewa były zaledwie mniej lub więcej zręcznymi spekulacjami, nie mającymi pewnego oparcia na doświadczeniu. Mimo to nie możemy się w dzisiejszym stanie wiedzy wahać co do uznania aktynu i jego produktów za odrębne pierwiastki. Nie poznajemy przecież nigdy materii samej w sobie, tylko jej własności. Nie znamy nigdy wszystkich własności jakiegokolwiek ciała. To też do zidentyfikowania ciała jako nowej, prostej formy materii, jako nowego pierwiastka, musimy nie koniecznie znać wiele tych własności, wystarczy nawet poznanie jednej własności, byleby ona była istotnie charakterystyczna. Z chwilą odkrycia linii widmowych helu w chromosferze słońca, hel był poznany nie mniej obiektywnie, jako pierwiastek istniejący w świecie, jak wtedy, gdy go znaleziono na ziemi i poznano i inne jego własności. Badania szczegółowe lat ostatnich ustaliły niezaprzeczalny fakt, że pewne własności promieniotwórcze, a przedewszystkiem stała przemiany radioaktywnej, są dla tych ciał ściśle charakterystyczne, podobnie jak linie widmowe. Na tej podstawie, choć nie znamy nawet ciężaru atomowego, ani widma aktynu, możemy twierdzić, że zarówno aktyn, jak jego produkty przedstawiają nowe, odrębne pierwiastki.

Lwów, 16-go marca 1912. Laboratorium fizyczne Politechniki.

Bibliografia.

1. A. Debierne: Sur une nouvelle substance radioactive. C. R. **129**, p. 593—595, r. 1899.
2. A. Debierne: Sur un nouvel élément radioactif, l'actinium. C. R. **130**, 906—908, r. 1900.
3. A. Debierne: Sur du barium radioactif artificiel. C. R. **131**, p. 333—335, r. 1900.
4. F. Giesel: Über Radium und radioaktive Stoffe. Ber. d. deut. Chem. Ges. **35**, S. 3608—3612, r. 1902.
5. F. Giesel: Über den Emanationskörper aus Pechblende. Ber. d. deut. Chem. Ges. **36**, 342—347, r. 1903.
6. A. Debierne: Sur la radioactivité induite provoquée par les sels d'actinium. C. R. **136**, 446—449, r. 1903.
7. A. Debierne: Sur la production de la radioactivité induite par l'actinium. C. R. **136**, p. 671—673, r. 1903.

8. E. Goldstein: Über einige Versuche mit dem Gieselschen Emanationskörper. *Verh. d. deutschen physikalischen Ges.* **5**, S. 392—403, r. 1903.
9. A. Debierne: Sur l'émanation de l'actinium. *C. R.* **138**, 411—413, r. 1904.
10. F. Giesel: Über den Emanationskörper (Emanium). *Ber. d. deut. chem. Ges.* **37**, S. 1696—1699, r. 1904.
11. E. Rutherford: The Succession of Changes in Radioactive Bodies. *Phil. Trans. of the Royal Soc. of London. Ser. A.* **204**, 169—219, r. 1904.
12. J. Hartmann: Über das Spektrum des Emaniumlichtes. *Phys. Zeit.* **5**, 570—571, r. 1904.
13. Miss H. Brooks: The Decay of the Exeited Radioactivity from Thorium, Radium and Actinium. *Phil. Mag.* **8**, 373—384, Sept. 1904.
14. F. Giesel: Über Emanium. *Ber. d. deutschen chemischen Gesellschaft* **37**, 3963—3966, r. 1904.
15. F. Giesel: Untersuchungen über das Emanium (Aktinium). *Jahrbuch f. Radioaktivität* **1**, S. 345—358, r. 1904.
16. A. Debierne: Sur l'actinium. *C. R.* **139**, p. 538—540, r. 1904. Über das Aktinium *Phys. Zeit.* **5**, 732—734, r. 1904.
17. F. Giesel: Über Aktinium-Emanium. *Phys. Zeit.* **5**, 822—823, r. 1905.
18. J. Elstel et H. Geitel: Sur la radioactivité des sédiments des sources thermales, *Archives des Sciences Phys. et Nat* **IV**, **19**, 1—30, r. 1905.
19. T. Godlewski: A New Radioactive Product from Actinium, *Nature*, p. 294—295, Jan. 1905.
20. H. L. Bronson: Radioactive Measurements by a Constant Deflection Method. *Amer. Journ. of Science*, **19**, 185—187, Febr. 1905.
21. F. Giesel: Über Emanium *Ber. d. deut. chem. Ges.* **38**, 775—778, r. 1905.
22. T. Godlewski: Actinium and its Successive Products. *Bull. Int. de l'Académie des Sc. de Cracovie*, 265—276, Apr. 1905. *Philosoph. Mag.* **10**, 35—45. Aktyn i jego produkta. *Rozprawy Wydz. mat.-przyr Akademii w Krakowie. Ser. A. T. XIV*, 119—132, r. 1905.
23. O. Hahn und O. Sackur: Die Zerfallskonstante der Emanation des Emaniums und Aktiniums. *Ber. d. deut. chem. Ges.* **38**, S. 1943—1946, r. 1915.
24. W. Marckwald: Über Aktinium-Emanium. *Ber. d. deut. chem. Ges.* **38**, S. 2264—2268, r. 1905.
25. S. Meyer und E. v. Schweidler: Untersuchungen über radioaktive Substanzen IV. Zur Kenntnis des Aktiniums. *Sitzungsberichte der Wiener Akademie*, **114**, IIa, S. 1147—1158, r. 1905.
26. F. Giesel: Über die Thoraktivität des Monazits. *Ber. der deut. chem. Ges.* **38**, S. 2334—2336, r. 1905.
27. A. Debierne: Sur les gaz produits par l'actinium. *C. R.* **141**, 383—385, r. 1905.
28. T. Godlewski: On the absorption of the β and γ Rays of Actinium. *Phil. Mag.* **10**, p. 375—379, Sept. 1905.
29. O. Hahn: Über ein neues die Emanation des Thoriums gebendes Element. *Jahrbuch f. Radioaktivität*, **2**, S. 233—266, r. 1905.
30. A. Debierne: Über einige Eigenschaften des Aktinium. *Physik. Zeit.*, **7**, S. 4—16, r. 1905.
31. T. Godlewski: Über die Eigenschaften des Aktiniums. *Jahrbuch f. Radioaktivität*, **3**, S. 134—167, r. 1906. *Les propriétés de l'Actinium. Le Radium*, **3**, p. 298—313, 328—332, r. 1906; **4**, p. 139—144, 194—199, r. 1907.
32. A. S. Eve: The Absorption of the γ Rays of Radioactive Substances. *Phil. Mag.* **11**, p. 586—595, Apr. 1906.

33. O. Hahn: A New Product of Actinium. *Nature*, Apr. 1906, p. 559—560. Ein neues Produkt von Aktinium. *Ber. d. deut. chem. Ges.*, **39**, S. 1605—1607, r. 1906.
34. S. Meyer und E. von Schweidler: Untersuchungen über radioaktive Substanzen IX. Einige Versuche über die Absorption der α Strahlen in Aluminium. *Sitzber. der Wiener Akademie*, **115**, IIa, p. 713—788, r. 1906.
35. O. Hahn: The Ionisation Ranges of the α Rays of Actinium. *Phil. Mag.* **12**, p. 244—254, r. 1906; Über den Ionisationsbereich der α Strahlen des Aktiniums. *Phys. Zeit.* **7**, p. 557—564, r. 1906.
36. M. Levin: Über den Ursprung der β Strahlen von Thorium und Aktinium. *Phys. Zeit.* **7**, p. 513—519; On the origin of the β Rays emitted by Thorium and Actinium. *Phil. Mag.* **12**, 177—188, r. 1906.
37. M. Levin: Einige Eigenschaften des Aktiniums. *Phys. Zeit.* **7**, S. 812—815, r. 1906.
38. E. Rutherford: The Mass and Velocity of the α Particles expelled from Radium and Actinium. *Phil. Mag.* **12**, p. 348—371, Oct. 1906.
39. O. Hahn: Über das Radioaktinium. *Phys. Zeit.* **7**, S. 855—864, r. 1906. On Radioactinium. *Phil. Mag.* **13**, p. 165—180, r. 1907.
40. B. Boltwood: The Production of Radium from Actinium. *Nature*, Nov. 13, 1906, p. 54.
41. H. S. Allen: Radium, Actinium and Helium; *Nature* 6 Dec. 1906, p. 126.
42. B. Boltwood: Radium and its disintegration Products. *Nature* January 3, 1907, p. 223.
43. E. Rutherford: Production of Radium from Actinium; *Nature* January 17 1907, p. 270—270.
44. M. Levin: Über einige Eigenschaften des Uraniums und Aktiniums. *Phys. Zeit.* **8**, p. 129—133.
45. St. Meyer u. E. v. Schweidler: Untersuchungen über radioaktive Substanzen VIII. Über ein radioaktives Produkt aus dem Aktinium. *Sitzber. der Wiener Akademie*, **116**, IIa, 81—85, r. 1907.
46. E. Rutherford: The Production and Origin of Radium *Phil. Mag.* **14**, 733—749, 1907; *Nature* **76**, p. 126, r. 1907, p. 661, r. 1907.
47. A. Debierne: Sur le coefficient de diffusion dans l'air de l'émanation de l'actinium. *Le Radium*, **4**, p. 213—218, r. 1907.
48. V. F. Hess: Über die Zerfallskonstante von AcA. *Sitzber. der Wiener Akademie*, **116**, IIa, 1157—1169, r. 1907.
49. F. Giesel: Über die ersten Zerfallsprodukte des Aktiniums (Emaniums), über eine neue Emanation und über Bildung von Helium aus Aktinium. *Ber. d. deut. chem. Ges.* **40**, S. 3011—3015, r. 1907.
50. O. Hahn: Über die Muttersubstanz des Radiums. *Ber. d. deut. chem. Ges.* **40**, S. 4415—4420, r. 1907.
51. B. Boltwood: The Origin of Radium. *Nature*, **76**, p. 293, 544—545, 589.
52. E. Henriot: Sur la condensation des émanations radioactives. *Le Radium*, **5**, p. 41—46, r. 1908.
53. S. Russ: The Distribution in Electric Fields of the Active Deposits of Radium, Thorium and Actinium. *Phil. Mag.* **15**, p. 601—614, r. 1908.
54. S. Russ: On the Electrical Charge of the Active Deposit of Actinium. *Phil. Mag.* **15**, p. 737—745, r. 1908.
55. Kinoshita: Condensation of the Actinium and Thorium Emanations. *Phil. Mag.* **16**, p. 121—131, r. 1908.

56. H. L. Bronson: On the Relative Activity of the Emanation and the Active Deposit from Thorium and from Actinium. *Phil. Mag.* **16**, p. 291–299, r. 1908.
57. O. Hahn u. L. Meitner: Aktinium C, ein neues kurzlebige Produkt des Aktiniums. *Phys. Zeit.* **9**, S. 649–655, r. 1908.
58. O. Hahn u. L. Meitner: Über die β Strahlen des Aktiniums. *Phys. Zeit.* **9**, S. 697–702, r. 1908.
59. O. Hahn: Über eine neue Erscheinung bei Aktivierung mit Aktinium. *Phys. Zeit.* **10**, S. 81–88, r. 1909.
60. G. Bruhat: Recherches sur le coefficient de diffusion de l'émanation d'actinium. *Le Radium* **6**, p. 67–73, r. 1909.
61. S. Russ: The Diffusion of Actinium and Thorium Emanations. *Phil. Mag.* **17**, p. 412–422, r. 1909.
62. O. Hahn u. L. Meitner: Eine neue Methode zur Herstellung radioaktiver Zerfallsprodukte. *Verhandl. d. deut. phys. Ges.* **11**, S. 55–62, r. 1909.
63. B. Szilard: Sur l'actinium et l'ionium. *Le Radium* **6**, p. 80–83, r. 1909.
64. S. Russ: Sur la diffusion des émanations de l'actinium et du thorium. *Le Radium* **6**, p. 109 r. 1909.
65. L. Bianquis: Comparaison entre les rayons α produits par différentes substances radioactives. *Le Radium* **6**, p. 230–232, r. 1909.
66. W. T. Kennedy: On the Active Deposit from Actinium in Uniform Electric Fields. *Phil. Mag.* **18**, p. 744–757, r. 1909.
67. J. C. Mc Lennan: On the Coefficients of Diffusion of the Emanation and the Active Deposit Particles of Actinium. *Physical Review* **30**, p. 660–661, r. 1909.
68. J. C. Mc Lennan: On the Radioactive Deposits from Actinium. *Nature* **79**, p. 487–488, r. 1909.
69. A. T. Cameron: The Position of the Radioactive Elements in the Periodic Table. *Nature* **82**, p. 67–68, r. 1909.
70. H. Geiger u. E. Marsden: Über die Zahl der von der Aktinium- und Thorium emanation ausgesandten Teilchen. *Phys. Zeit.* **11**, S. 7–11, r. 1910.
71. L. Bianquis: Recherches sur les constituants de l'activité induite de l'actinium. *Le Radium* **159**, 162, r. 1910.
72. R. D. Kleemann: The Ionisation of the Various Gases by the β Rays of Actinium. *Proc. Roy. Soc. of London* **83**, A. p. 530–533, r. 1910.
73. S. Arrhenius: Solubilité de l'activité induite de l'actinium. *Comptes Rendus du Congrès Int. de Radiologie à Brux.* **T. 1**, p. 50–51.
74. A. Russell and F. Soddy: The γ Rays of Thorium and Actinium. *Phil. Mag.* **21**, p. 130–154, r. 1911.
75. F. S. Loring: Le poids atomique de l'actinium. *Chem. News.* **104**, p. 59–60, r. 1911.
76. A. F. Kovářík: Über den Wert der Zerfallsperiode des AcC. *Phys. Zeit.* **12**, p. 83, r. 1911.
77. B. B. Boltwood: Report on the Separation of Jonium and Actinium and the production of Helium by Jonium. *Proceedings of the Roy. Soc. of London* **85**, A. 77–81, r. 1911. *Le Radium* **8**, p. 104–106, r. 1911.
78. H. Geiger: The Transformation of Actinium Emanation. *Phil. Mag.* **22**, p. 201–204, r. 1911.
79. M-me P. Curie: Sur la variation avec le temps de l'activité de quelques substances radioactives. *Le Radium* **8**, p. 353–354, r. 1911.

80. H. Geiger and F. Kovářík: On the Relative Number of Ions produced by the β Particles from the Various Radioactive Substances. *Phil. Mag.* **22**, p. 604–613, r. 1911.
81. Nicholson: A possible Relation between Uranium and Actinium. *Nature* **87**, p. 515, r. 1911.
82. H. Geiger and J. M. Nuttall: The Ranges of the α Particles from Various Radioactive Substances and a Relation between Range and Period of Transformation. *Phil. Mag.* **22**, p. 613–621, r. 1911.
83. E. Rutherford and H. Geiger: Transformation and Nomenclature of the Radioactive Emanations. *Phil. Mag.* **22**, p. 621–629, r. 1911.
84. H. G. Moseley and K. Fajans: Radioactive Products of short Life. *Phil. Mag.* **22**, 629–638, r. 1911.
85. E. Marsden and T. Barratt: The α Particles emitted by the Active Deposits of Thorium and Actinium. *Proceed. of the Physical Soc. of London* **25**, p. 50–61, r. 1911.
86. G. v. Hevesy: Über den Nachweis der Aktiniumemanation in Aktiniumhaltigen Mineralien. *Phys. Zeit.* **12**, S. 1213–1214, r. 1911.
87. G. v. Hevesy: Über die Löslichkeit von Aktinium-emanation in Flüssigkeiten und Kohle. *Phys. Zeit.* **12**, S. 1214–1224, r. 1911.
88. T. Godlewski: The Electrolytic Transportation of the Active Deposit of Actinium through Pure Water. *Nature*, March p. 86–87, r. 1912.