

St. LANDAU.

Promieniotwórczość w wykładzie elementarnym.¹⁾

Słyszemy nieraz z ust ludzi inteligentnych, że żyjemy w epoce wielkich przewrotów w pojęciach naukowych, etycznych, estetycznych. Jeżeli chodzi o pierwsze, to przeważnie jest to to tylko frazes, wyczytany w pismach codziennych i pozbawiony wszelkiej głębokiej treści. I młodzież szkolna wydaje podobne sądy o postępach wiedzy. Pod wpływem często niesłychanie płytkich artykułików popularnych w prasie wytwarza sobie ona nader fantastyczne wyobrażenia o nowych kierunkach badań. Jeżeli nauczyciel w wykładzie szkolnym pominię zupełnie najnowsze zdobycze, to w umysłach żywszych zrodzi się zapewne przekonanie, że działają tu jakieś powody uboczne, że nauczyciel pragnie podtrzymać w ich oczach urok starego gmachu wiedzy, który się już w gruzy rozpada, że jest suchym formalistą i działa li tylko w myśl programów obowiązujących i t. p. To też byłoby wysoce niepedagogicznym pomijać zupełnie najnowsze zdobycze. Poważne ich traktowanie najlepiej przekona uczących się, że przewrót w pojęciach naukowych jest zupełnie odmienny od ich fantastycznych wyobrażeń, że rozszerzył się tylko widnokrąg myślowy i że dawniej znane zasady i prawa po dziś dzień mają siłę obowiązującą w tych granicach, jakie im ówczesne badania określiły. Wykład powinien być jednak, o ile można, oparty na danych doświadczeniach. Spekulacje, od których Fizyka dzisiaj się roi, powinny być usunięte; tylko opierając się na eksperymencie, można być pewnym, że daje się

¹⁾ Referat, odczytany na posiedzeniu miesięcznym Koła mat.-fizycz. dnia 9 maja 1908 r.

treść, która na zawsze zachowa swą wartość; nie wyklucza to, oczywiście, uwzględnienia najważniejszych hipotez nanki spóczesnej. Podając uczącemu się fakty konkretne, przyczynimy się do usunięcia wszelkich mglistych wyobrażeń o jakichś wszechpotężnych emanacjach i cudownych promieniowaniach.

Wyobrażamy sobie chętnie, że doświadczenia z dziedziny promieniotwórczości wymagają środków nadzwyczajnych, bo przecież wykonywają je gdzieś daleko, w krajach bogatych, wysoką kulturę posiadających. Pewno, że jeżeli chodzi o epokowe badanie nad emanacją radu, to trzeba ją posiadać dziesiątki tysięcy i być w dodatku genialnym eksperymentatorem. Jednak eksperymenty zasadnicze są niezmiernie proste i wymagają bardzo małych środków. Dwa pierwiastki promieniotwórcze, tor i uran, są bardzo łatwe do zdobycia. Związki toru lub uranu można dostać lub sprowadzić w cenie co najwyżej kilkunastu kopiejek za gram ¹⁾; wszak zwykłe palniki Auerowskie składają się w przeważnej części z tlenku torowego, kilka klisz i elektroskop — oto wszystko czego trzeba, aby zaznajomić ucznia z głównymi faktami z dziedziny promieniotwórczości.

Pewien kłopot sprawi elektroskop. Zwykły posiada zbyt słabą zolację i w przeważnej liczbie przypadków, kiedy się rozporządza ciałami o słabej zdolności promieniowania, nie będzie mógł on służyć do pokazów. Elektroskopy czułe, specjalnie zastosowane do badań nad promieniotwórczością, sprzedają wszystkie większe firmy, lecz cena tych przyrządów jest wygórowana (w każdym razie wyniesie ona około 50 marek; w tej cenie sprzedają mechanicy getyngescy Spindler i Hoyer bardzo dobre elektroskopy do badań nad promieniotwórczością atmosfery). Niewątpliwie jednak można samemu, lub przy pomocy jakiego rzemieślnika zbudować bardzo czuły elektroskop za cenę kilku rubli.

Może kilka wskazówek poniższych będzie posiadało pewną wartość. Szkielet da się zbudować z pudełka blaszanego (czworograniastego, łatwiej szybkę obciąć). Pręt elektroskopu powinien być osadzony w jak najlepszym izolatorze i przedewszystkiem należy tu postawić bursztyn. O korek bursztynowy, odpowiednio obtoczony,

¹⁾ Czyste produkty są zbyt cenne. Najodpowiedniejsze będą tlenki (tor) lub metale (uran).

trudno będzie w naszych warunkach; możnaby skutecznie zastąpić przez doskonale wyczyszczony munsztuk od cygarnicy. Kistek złoty, a lepiej glinowy, wykrawa się, nie wyjmując go z pomiędzy arkuszy papieru; użyć trzeba jak najostrożniejszych noży, starannie oczyszczonych alkoholem od tłuszczu; listek można przykleić odrobina łożu. Podany tu przepis nie jest i nie może być kompletny. Odpowiednio do posiadanych narzędzi i materiału, zawsze się ma jeszcze pewne trudności eksperymentalne; ich przezwyciężenie będzie pożytecznym urozmaicheniem tak dla uczniów, jak i dla nauczającego.

Przypuszczam, że posiadając wyżej wyszczególnione przyrządy i korzystając w jak najszerszym zakresie z pomocy uczniów, nauczyciel pokaże im następujące doświadczenia: 1) otrzymywanie radiografii ¹⁾; 2) wyładowanie elektroskopu pod wpływem promieni Becquerela; 3) wydzielanie emanacji przez tor; 4) otrzymywanie toru X; 5) wreszcie postara się, w miarę możliwości, skierować uczniów ku spostrzeżeniom nad promieniotwórczością atmosfery.

Było zamiarem piszącego te słowa zademonstrować te doświadczenia na posiedzeniu „Koła“. Okoliczności chwilowo stanęły na przeszkodzie. Zdawało się jednak, że, być może, i sam dobór i ugrupowanie materiału będą miały pewną wartość ²⁾.

¹⁾ Za pomocą preparatów uranowych i torowych (np. koszulek Auerowskich przy dłuższych ekspozycjach).

²⁾ Korzystałem głównie z klasycznego dzieła Rutherforda: „Radio-Activity“ i Whethama „Experimental Electricity“. Obydwie książki wydane w Cambridge, r. 1905. Książka Rutherforda jest też w niemieckim tłumaczeniu Aschkinassa. Zbytecznym jest chyba przypominać o znakomitej rozprawie p. Curie-Skłodowskiej w języku polskim. Rozprawa ta, niezmiernie kompletna, zawiera, ze względu na rok wydawnictwa, tylko wzmiankę o powszechnie przyjętej obecnie hipotezie przemian. Uczącym się, po zaznajomieniu ich z głównymi faktami z przewodnictwa gazów, polecić można piękną broszurkę prof. Tólczki „Co to są elektrony“. Z innych książek mi znanych mógłbym polecić odnośne rozdziały z II-go tomu Rieckiego „Lehrbuch der Physik“ (trzecie wydanie, 1905). a również dziełko Augusta Rihiego: „Die modernen Theorien physikalischer Erscheinungen. Ionen, Elektronen, Radioaktivität“ 1905 (tytuł tylko w pierwszym przybliżeniu ścisły). Książeczka ta jest niewątpliwie najlepszą z rzeczy popularnych temu przedmiotowi poświęconych

1. O pierwiastkach promieniotwórczych i o promieniotwórczości wogóle.

Pierwiastki: uran, tor, rad, polon i aktyn, nazywamy promieniotwórczymi. Z pomiędzy nich uran i tor są dość pospolite w przyrodzie i od dawna już były znane w Chemii. Polon, rad i aktyn odkryto niedawno, kiedy zaczęto dokładnie badać zjawiska promieniotwórczości, zachodzące w związkach uranu. Wiadomo powszechnie, że zjawiska promieniotwórczości pochłaniają obecnie uwagę całego świata naukowego i że, dzięki wytężonym wysiłkom najgłówniejszych badaczy społecznych, poznano tu w ciągu lat kilku tyle nowych i to tak doniosłych faktów, że słyszy się często, iż pod wpływem tych badań zaszedł przewrót w pojęciach naukowych. Zastanówmy się tu od razu nad tem, co w zjawiskach promieniotwórczości jest tak niezwykłego, pod jakim względem różnią się one od wszystkiego, co wiedza zdobyła w ciągu tysiącleci.

Weźmy do ręki jakiegokolwiek ciało promieniotwórcze. Z wejrzenia nie dostrzeżemy w niem żadnych cech nadzwyczajnych, ani nowych. Tylko rad posiada zdolność samodzielnego świecenia; zresztą świeci światłem tak słabem, że można je zauważyć tylko zblizka i to w ciemności. Ta własność nie wyda się nam zbyt zadziwiającą; wszak i wiele innych ciał świeci: fosfor, próchno, cukier przy krystalizacji. I tu mógłby więc zachodzić jakiś proces analogiczny. Głębsze jednak badanie pokazuje, że nie tylko rad, ale i wszystkie ciała promieniotwórcze wysyłają jeszcze promienie zasadnicze różne od świetlnych, promienie elektryczne, analogiczne do tych, które spotykamy w rurkach Crookesa¹⁾. Piotr Curie określił ogólną ilość energii przez rad wypromieniowywaną; wynosiłaby ona na 1gr. czystego radu, 100 kaloryj gramowych na godzinę. Jeżeli weźmiemy pod uwagę, że ilość energii przez rad dostarczanej nie maleje z czasem (w każdym razie dotąd, po upływie dziesięciolecia, nie zdołano tego skonstatować, to dojdziemy do wniosku, że rad jest najpotężniejszym ze znanych

¹⁾ Przypuszczam tu wszędzie, że uczeń zna już zasadnicze zjawiska przewodnictwo w gazach; w każdym razie nauczyciel nieomieszką powtórzyć odpowiednich doświadczeń.

nam źródeł energii. Wiadomo, że energię czerpiemy obecnie przede wszystkim z reakcyj chemicznych, a głównie ze spalania węgla. Jeden gram węgla daje przy spalaniu około 8000 kaloryj gramowych. Wiele okoliczności przemawia za tem, że siła promieniowania radu spada do połowy, już po upływie 1300 lat. Wychodząc z takiego założenia znajdziemy, że 1 gr. radu przez cały ciąg swego istnienia wypromieniowuje tyleż energii, ile jej powstaje przy spaleniu 200 kg. węgla. Znamy jednak reakcyje chemiczne, energiczniejsze od spalania się węgla; najenergiczniejszą ze wszystkich jest reakcyja powstawania wody z tlenu i wodoru; przy powstawaniu 1 gr. wody wydzielają się w okrągłej liczbie 4000 kal. gramowych; okazuje się tedy, że rad w ciągu istnienia swego daje 400000 razy więcej energii, niż najsilniejsze ze znanych reakcyj chemicznych.

Możnaby postawić zarzut, że są to tylko różnice ilościowe, że być może, i tu zachodzi tylko jakaś niedostrzegalna przemiana chemiczna. W każdym razie musiałaby ona być zupełnie różna od znanych nam. Zwykle bowiem przemiany ciał zależą od warunków zewnętrznych: temperatury, ciśnienia i t. d. Zjawiska promieniotwórczości są od tych czynników niezależne; oziębiano ciała promieniotwórcze do -180° , ogrzewano je potem do $+800^{\circ}$, poddawano wpływowi promieni nadfioletowych, podczerwonych, wyładowaniom iskry elektrycznej i nigdy nie zdołano zauważyć istotnych zmian w sile promieniowania.

Tak więc olbrzymi zapas energii wypromieniowywanej i niezależność promieniowania od warunków zewnętrznych stanowią istotne cechy zjawisk promieniotwórczych.

II. Dzieje odkrycia promieniotwórczości.

Wiemy już teraz, jak zadziwiające własności posiadają ciała promieniotwórcze i jak zasadniczo różnią się one od innych ciał, których badaniem zajmowała się dotychczas Fizyka i Chemia. Mimowoli nasuwa się pytanie, co było powodem, że przez ciąg wieków, a głównie w wieku XIX-tym, kiedy już wiedza liczyła ogromny zastęp pracowników, nikt nie wpadł na ślad tych zjawisk. Pochodziło to stąd, że pierwiastki uran i tor, które w większej ilości spotykamy w przyro-

dzie posiadają tak słabą promieniotwórczość, że trzeba było szczęśliwego zbiegu okoliczności, aby ujawnić ich działanie na dwa niezmiernie czułe przyrządy, jakimi są: klisza fotograficzna i elektroskop. Stało się to w sposób następujący; W roku 1895 Röntgen odkrył swe promienie. Ich niezwykle własności, tajemnicza natura, do dziś dnia jeszcze nie zupełnie wyjaśniona, pobudziły fizyków świata całego do najusilniejszych poszukiwań w tej dziedzinie. Promienie Röntgena wychodziły ze ścianki rurki szklanej Crookesa, która była wystawiona na działanie promieni katodowych. Szkło w miejscu, gdzie je spotykają promienie katodowe, silnie fluoryzuje; zastanawiano się nad tem, czy te nowe promienie nie są w ścisłym związku z również dość zagadkowymi zjawiskami fluorescencyi. Gdyby między obydwojema zjawiskami zachodził istotny związek, to należałoby oczekiwać, że ciała fluoryzujące wogóle będą posiadały zdolność wysyłania promieni X. Francuski uczonec H. Becquerel, który już oddawna zajmował się zjawiskami fluorescencyi i dokonał w tej dziedzinie wielu pięknych odkryć i wynalazków, postanowił bliżej zbadać pod tym względem sole uranowe. W tym celu wystawił kryształ soli uranowej na promienie słońca i przekonał się, że kryształ taki działa potem na płytę fotograficzną poprzez podwójną warstwę czarnego papieru, która w zupełności zabezpiecza klisze nawet od bezpośredniego działania promieni słonecznych. Becquerel, wybitny eksperymentator, nie poprzestał na pojedynczej próbie, lecz po kilku dniach znów doświadczenie powtórzył. Na szczęście dzień był pochmurny; zniechęcony badacz schował przygotowane klisze i kryształy. Następnego dnia wywołał na wszelki wypadek klisze i dostrzegł ze zdziwieniem, że sól uranowa, nie wystawiona na działanie słońca, działa również energicznie jak i ta, która ulegała działaniu promieni słonecznych. To naprowadziło Becquerela na drogę dalszych odkryć. Znalazł on niestety, że promieniowanie soli uranowych tak samo, jak i promienie X, czyni powietrze przewodnikiem elektryczności, a jak to dziś rozumiemy, jonizuje je, czyli wytwarza w niem cząstki naładowane elektrycznością dodatnią i ujemną; cząstki te przyczyniają się do przechodzenia elektryczności, podobnie jak jony elektrolitów.

Po odkryciu promieniotwórczości uranu znajomość tych zjawisk przez czas pewien wolno posuwała się naprzód. Nowe i szybkie postępy na tem polu miała nauka do zawdzięczenia Piotrowi Curie

i Maryi Curie - Skłodowskiej. Chcąc się przekonać, czy promieniotwórczość nie jest własnością i innych ciał, oprócz uranu, pani Curie poddała badaniu wszystkie znane pierwiastki i ich związki, nie wyłączając pierwiastków najrzadszych.

W badaniach tych określała przewodnictwo powietrza, posługując się tu specjalną, bardzo czułą metodą, wynalezioną przez pana Curie. Te drobiazgowo, mozolne poszukiwania pokazały, że z pomiędzy innych pierwiastków tylko tor posiada własności podobne do uranu i nadaje powietrzu przewodnictwo prawie w tym samym, co i uran, stopniu. Okazało się dalej, że własności promieniotwórcze uranu są zupełnie niezależne od rodzaju związku chemicznego, który on tworzy. We wszystkich przypadkach jest miarodajną tylko ilość samego pierwiastku. Tak 1 gr. metalicznego uranu promieniuje silniej, niż 1 gr. tlenku uranowego; gram tlenku silniej, niż gram azotanu i t. d. Niezwykły wyjątek stanowiły jednak pewne rudy uranowe. Ruda uranowa z Jachimowa w Czechach (zwana tu blendą smołowo-uranową), a zawierająca, oprócz uranu, bardzo wiele ciał innych, promieniowała trzy razy silniej niż czysty uran. Pani Curie z genialną przenikliwością przewidziała, że tu wchodzi w grę jakiś nowy pierwiastek, o większej sile promieniowania, niż sam uran. Państwo Curie wspólnie dowiedli zasadności takiego przypuszczenia. Otrzymali oni wspólnie dwa nowe pierwiastki o promieniotwórczości wiele tysięcy razy silniejszej od promieniotwórczości uranu. Pierwsze z ciał odkrytych nazwali państwo Curie polonem, drugie zaś radem. Trudno jest zdać sobie w dostatecznej mierze sprawę z trudności, jakie przedstawiało odkrycie tych pierwiastków w rudzie uranowej. W życiu codziennym, chcąc dać przykład czegoś niewykonalnego, mówimy o odnalezieniu ziarenka maku w worku soli. Otrzymanie kilku decygramów chlorku radowego z wielu tysięcy kilogramów rudy uranowej tylko z takim przedsięwzięciem porównać można.

III. Metoda badania ciał promieniotwórczych.

O powódzeniu państwa Curie stanowiła zastosowana przez nich metoda badania promieniotwórczości, o której właśnie pomówimy teraz obszerniej. Polega ona na badaniu przewodnictwa elektrycz-

nego, którego nabiera powietrze pod wpływem tych samych promieni. Postępowanie jest następujące: bierze się dwie płytki metnlowe; jedną z nich (fig. 1) *B* łączy się z ziemią, drugą zaś— z jednym z biegunów

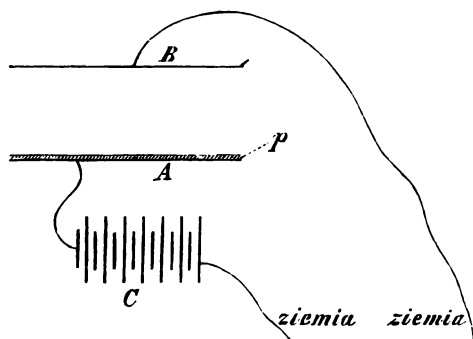


Fig. 1.

bateryi elektrycznej *C*; drugi biegun bateryi też łączymy z ziemią. Jeżeli teraz na *A* umieścimy jakieś ciało promieniotwórcze *p*, to powietrze pomiędzy płytkami stanie się przewodnikiem i przez cały układ

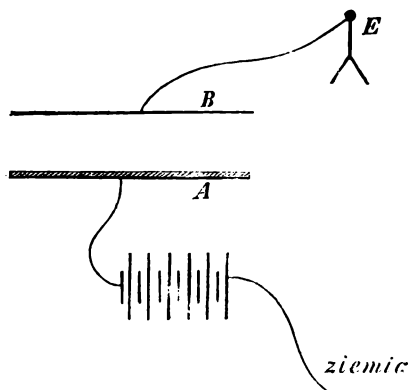


Fig. 2.

popłynie prąd. Jeżeli zaś *B* zamiast z ziemią, połączymy z czułym elektroskopem *E* (fig. 2), to listki tego ostatniego zaczną się rozsuwać; przyczynę łatwo można zrozumieć: między płytkami powstaje pole elektryczne i jeżeli *A* jest, dajmy na to, naładowane dodatnio, to ode-

pełnie jony tegoż znaku, które podążą ku płytce *B* i jej oddadzą swój ładunek. To doświadczenie można wykonać w prostszy jeszcze sposób; wystarczy naładować elektroskop i w pobliżu jego trzymać jakieś ciało promieniotwórcze. Jak w przykładzie poprzednim, powstaną w powietrzu jony dodatnie i ujemne; elektroskop, naładowany np. ujemnie, przyciągać będzie cząstki dodatnie, wskutek czego zacznie tracić swój ładunek. Im silniejszym jest promieniowanie, tem więcej powstawać będzie z powietrza jonów i tem szybszy będzie ruch listków elektroskopu. Widzimy więc, że doświadczenia tego rodzaju pozwa-

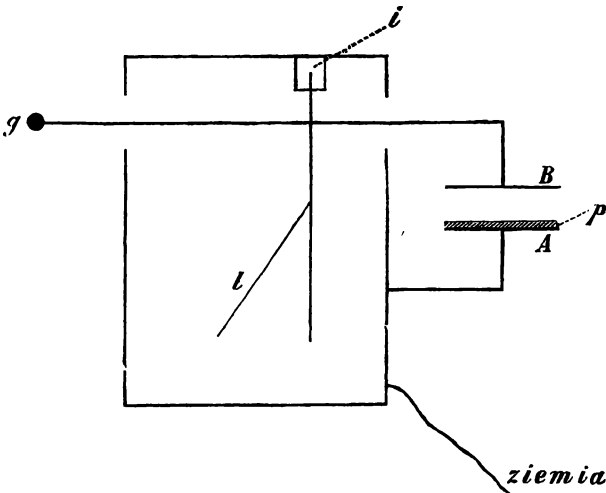


Fig. 3.

lają określić siłę promieniowania ciała badanego. Ta nadzwyczaj prosta metoda może być uczyniona tak czułą przy użyciu subtelnych przyrządów, że przeważa wielokrotnie nie tylko wszystkie chemiczne sposoby badania, lecz jest nawet kilka tysięcy razy czulsza od analizy widmowej. Na figurze 3-iej podany jest schemat elektroskopu, który służył pani Curie do wielu badań. Budowa tego przyrządu jest sama przez się zrozumiała. Wszystkie części są z metalu, z wyjątkiem korka *i*, który jest zrobiony z doskonałego izolatora; *l* jest to listek złoty. Ładuje się elektroskop przez gałkę *g*. Zewnętrzną zbroję łączy się z ziemią; wówczas między talerzykami *A*

i B powstaje prąd elektryczny, o ile dolny posypany jest jakąś substancją promieniotwórczą.

Metoda fotograficzna badań jest zmuenniejsza i trudno na jej podstawie dokładnie ocenić siłę promieniowania. W wielu razach jest ona jednak niezastąpiona; dzięki niej udało się rzucić światło na naturę różnych rodzajów promieni, przez ciała radioaktywne wysyłanych.

Trzy rodzaje promieni; emanacje promieniotwórcze.

Wkrótce po odkryciu ciał promieniotwórczych zdołano dowieść, że promieniowanie tych ciał nie jest jednolite, lecz składa się z trzech rodzajów promieni; jakżeśmy już zaznaczyli, spotykamy tu te same rodzaje promieni, co i w rurkach *Crookesa*; mamy więc wyrzucane z wielką szybkością ciała naelektryzowane dodatnio (tam — promienie kanałowe, tu — promienie α), potoki ciałek naelektryzowanych ujemnie (tam — promienie katodalne, tu — promienie β), wreszcie promienie analogiczne do promieni *Röntgena*, które tu nazywamy promieniami γ . Być może, iż dalsze badania pokażą, że istnieją pewne subtelne różnice między promieniami, spotykanymi w rurkach *Crookesa* a promieniami ciał radioaktywnych. Tymczasem wszystko świadczy o analogii. Niejednaki charakter tych różnych promieni wychodzi na jaw w silnym polu magnetycznym. Jak wiemy, przewodnik, po którym płynie prąd elektryczny, odchyła się w bok w polu magnetycznym i to w różne strony, zależnie od kierunku prądu ¹⁾, Ciała promieniotwórcze wysyłają cząstki naładowane elektrycznością dodatnią i ujemną; jest to tak, jak gdybyśmy mieli dwa prądy w przeciwnych kierunkach. To też w polu magnetycznym promienie α i β oddziela się jedno od drugich, jak to widać na fig. 4-ej. Promienie γ odchyleniu nie ulegają, gdyż nie składają się one z cząstek naelektryzowanych, lecz polegają prawdopodobnie na nieprawidłowych zakłóceciach w eterze świetlnym.

I pod innymi względami różnią się od siebie te trzy rodzaje promieni. Natężenie promieni α spada do połowy już po przejściu przez

¹⁾ Nauczyciel demonstruje to zjawisko.

listek glinowy grubości 0.0005 cm., gdy w stosunku do promieni β trzeba na to użyć warstewki 0.05 cm., zaś intensywność promieni γ zmniejsza się o połowę dopiero przy użyciu płytki glinowej grubości 8 centymetrów. Niektóre ciała promieniotwórcze dają wszystkie trzy rodzaje promieni, inne tylko dwa lub jeden. Tak np. polon wysyła tylko promienie α .

Po odkryciu polonu i radu, we wszystkich krajach wzięto się z zapałem do badań nad promieniotwórczością; tej właśnie wytężonej a zbiorowej pracy uczonych świata całego zawdzięczamy to, że poszu-

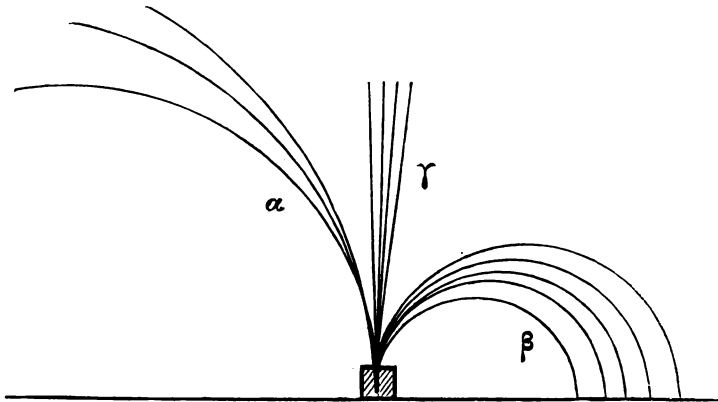


Fig. 4.

kiwania w tej dziedzinie już po upływie kilku lat otworzyły myśli ludzkiej zupełnie nowe horyzonty.

Jednym z najbardziej zasłużonych na tem polu badaczy jest angielski uczoney R *u* t h e r f o r d, który jeszcze w końcu XIX stulecia wielce się przyczynił do wyjaśnienia natury promieniowania. R *u* t h e r f o r d, badając zdolność promieniowania toru, napotkał na wielkie przeszkody. Badanie prowadził on znaną nam metodą, mierząc przewodnictwo powietrza pomiędzy dwiema płytami metalowymi (ob. fig. 1). Okazało się, że w przypadku toru zjawiska promieniotwórczości są bardzo kapryśne. Najmniejszy powiew powietrza zmieniał od razu wskazania przyrządu; doświadczenia udawały się stosunkowo, kiedy umieszczano płyty, między którymi powstaje prąd, w naczyniu zamkniętem. Aby wytłómaczyć niezwykle zachowanie się związków

toru, Rutherford postawił hipotezę, iż tor wydziela nową substancję promieniotwórczą, gaz jakiś, który pod wpływem prądów powietrza przenosi się z miejsca na miejsce. Nie chcąc przesądzać o naturze tego nowego ciała, Rutherford nazwał je trochę tajemniczo „emanacją”. Za pomocą przyrządu, przedstawionego na fig. 5-ej, można się przekonać, że tor rzeczywiście wydziela coś lotnego, co posiada własności promieniotwórcze. Rurkę szklaną *A* napełniamy do połowy tlenkiem toru ThO_2 i łączymy za pomocą rurek kauczukowych z rurą metalową *B* i naczyniem *C*, zawierającym stężony kwas siarczany do osuszania powietrza. Jeżeli przez przyrząd tak złożony będziemy przesysali powietrze w kierunku wskazanym strzałką, to okaże

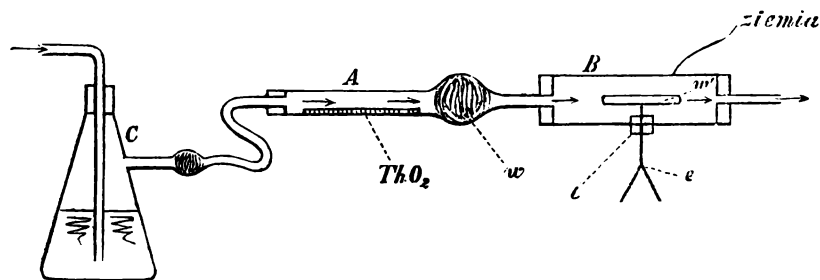


Fig. 5.

się, że elektroskop połączony z walcem *w'* wewnątrz rury *B*, zacznie tracić swój ładunek ¹⁾. Widocznym jest, że prąd powietrza unosi jakąś substancję promieniotwórczą, która powoduje jonizację w naczyniu *B*. Można by przypuścić, że mamy tu do czynienia z jonami, które powstały już w rurce *A* i które przeszły wraz z powietrzem do *B*; tym jednak jonom broni przystępu wata, znajdująca się w rozszerzeniu rurki (*w* na rysunku). Że wata zupełnie zatrzymuje jony, można się przekonać, biorąc, zamiast związków toru, jakiś związek uranu. Uran emanacyi nie daje i, pomimo przesysania powietrza, nie dostrzeżemy joni-

¹⁾ Doświadczenie to należy do najzupełniej wykonalnych. Powietrze można przesysać za pomocą pompy wodnej, gazometru lub syfonu. Rura *B* powinna posiadać w miejscu *t* doskonałą izolację bursztynową (cygarnica). Walec *w'* powinien posiadać guzik metalowy, który ściśle stykać się będzie z guzikiem czulego elektroskopu.

zacy w rurze *B*. Zauważmy tu, że i rad daje emanację. Dalsze badania pokazały, że i wszystkie inne własności emanacji doskonale się zgadzają z przypuszczeniem Rutherforda, iż jest to gaz, wydzielany przez pewne ciała promieniotwórcze. Stwierdzono, że emanacja dyfunduje na podobieństwo gazu, że ulega prawu Boyle'a i Mariotte'a, że okala swobodnie przegrody, że wreszcie skrapla się w temperaturze ciekłego powietrza. Skroplenie emanacji można stwierdzić w ten sposób, że w przyrządzie tylko co opisanym wstawia się pomiędzy walec *B* a rurkę z ciałem promieniotwórczym jeszcze jedną rurkę w kształcie litery *U*; tę ostatnią zanurza się w ciekłym powietrzu. W tych warunkach elektroskop przestaje się wyładowywać. Emanacja występuje w ilościach niesłychanie małych. Rutherford obliczył jednak, że, biorąc bardzo znaczne ilości radu, możnaby otrzymać taką ilość emanacji, która dałaby się zmierzyć. Uczonym angielskim Ramsayowi i Soddy'emu udało się rzeczywiście otrzymać z 60 mgr. bromku radowego małeutki pęcherzyk emanacji.

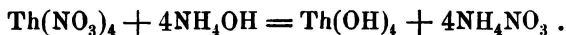
Emanacja, zawarta wraz z powietrzem w naczyniu zamkniętym, traci stopniowo swoje własności promieniotwórcze; pozostawia jednak ślad po sobie w postaci niewidzialnego osadu promieniotwórczego na ściankach naczynia i na przedmiotach, wewnątrz naczynia się znajdujących. W ten sposób wszelkie ciało, znajdujące się w pobliżu radu i toru, staje się z kolei rzeczy promieniotwórczym; mówimy wówczas o promieniotwórczości przez wpływ, o promieniotwórczości wzbudzonej. Dwaj uczeni niemieccy Elster i Geitel, nauczyciele gimnazjum w Wolfenbüttel pod Brunświkiem, wykryli, że i powietrze atmosferyczne posiada własności promieniotwórcze, które należy przypisać jakiejś emanacji; prawdopodobnie jest to emanacja radu ¹⁾.

IV. Pierwiastki X; prawo spadku i wzrostu promieniotwórczości.

Doświadczenia z emanacją pokazują, że w pewnych warunkach część promieniotwórczości można oddzielić od danego ciała w postaci gazu. Rutherford odkrył, że można oddzielić część promieniotwórczości toru i na innej drodze. Rozpuśćmy w wodzie trochę azo-

¹⁾ Ob. rozdział 14-ty w Rutherforda „Radio-Activity“.

ranu torowego ²⁾, który ma wzór chemiczny $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$; traktując ten utwór amoniakiem, otrzymamy następującą reakcję:



Wodorotlenek toru, jako ciało nierozpuszczalne, otrzymamy w postaci gęstego białego osadu; odsączając, otrzymamy go na sączku; w odsączu będziemy mieli wodny roztwór azotanu amonowego. Oczekiwalibyśmy, że promieniotwórczym będzie tlenek toru; dzieje się tymczasem wprost przeciwnie. Jeżeli odparujemy czempędzej odsącz, to okaże się, że

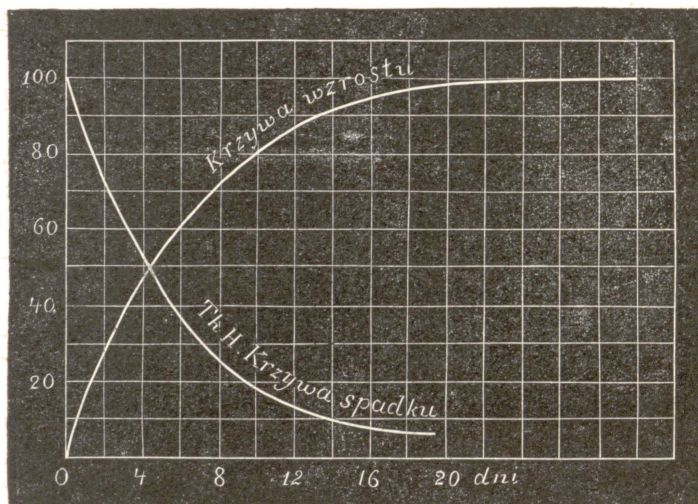


Fig. 6.

cała promieniotwórczość przeszła doń właśnie; tlenek zaś toru promieniotwórczych własności prawie wcale nie będzie posiadał. Nie poprzestając na tem, badajmy dalej własności promieniotwórcze obydwu produktów w ciągu jakiegoś miesiąca. Okaże się, promieniotwórczość odsączu stopniowo spadać będzie; promieniotwórczość zaś tlenku będzie wciąż wzrastała. Rutherford przypuszcza, że przy strącaniu wodorotlenku amoniakiem, oddzielamy od toru nowe ciało promieniotwórcze, które nazywamy ThX ²⁾. Na podstawie spostrzeżeń, doty-

¹⁾ Doświadczenie.

²⁾ Już przed Rutherfordem Crookes oddzielił też w analogiczny sposób część promieniotwórczości uranu i nazwał hypotetyczne ciało Urx .

czących natężenia promieniowań możemy wykreślić dwie krzywe, z których jedna pokaże nam stopniowy spadek promieniotwórczości toru X, druga zaś wzrost promieniotwórczości tlenu torowego. obydwie te krzywe uzupełniają się wzajemnie (fig. 6). Z początku cała promieniotwórczość będzie się koncentrowała w ThX, promieniotwórczość wodorotlenku = 0; potem promieniotwórczość ThX wciąż będzie spadała, lecz o ile spadnie promieniotwórczość ThX, o tyleż wzrośnie promieniotwórczość wodorotlenku. Suma rzędnych obydwu tych krzywych jest wielkością stałą; w tem miejscu, gdzie się obydwie krzywe przecinają, promieniotwórczości obydwu produktów są sobie równe, a zarazem wynoszą połowę promieniotwórczości pierwotnej. Wreszcie po upływie znaczniejszego czasu promieniotwórczość ThX spada do zera, a tlenek toru odzyskuje swą pierwotną promieniotwórczość. Możemy tu mówić o prawie zachowania promieniotwórczości. Bliższe obliczenia pokazują, że spadek promieniotwórczości odbywa się podług prawa postępu geometrycznego¹⁾; inaczej mówiąc, że jeżeli wyrazimy liczbowo siłę promieniowania ThX, to liczby te stanowiąc będą postęp geometryczny malejący. Wykładnikiem tego postępu będzie $e^{-\lambda t}$, gdzie e jest podstawą logarytmów naturalnych, λ zaś określoną liczbą stałą. Tak więc, jeżeli w pierwszej chwili promieniotwórczość równa się I_0 , to po upływie sekundy równać się będzie $I_0 e^{-\lambda}$, po dwóch — $I_0 e^{-2\lambda}$, po upływie trzech — $I_0 e^{-3\lambda}$ i t. d.; w ogóle po upływie t sekund natężenie promieniowania $I = I_0 e^{-\lambda t}$.

Temu samemu prawu ulegają i inne ciała promieniotwórcze; każde z nich charakteryzuje pewną wielkość stałą λ ²⁾. Im większą

1) Zdawało mi się, że wprowadzenie terminu „funkcja wykładnicza“, byłoby nie na miejscu.

2) Aby sobie dokładnie uświadomić treść tego prawa, uczniowie przerebiają kilka prostych przykładów liczbowych:

1) Promieniowanie toru X spada do połowy po upływie 4-ch dni; czemu się równa stała λ , jeżeli za jednostkę czasu obieramy sekundę? Czemu się równa ta stała, jeżeli czas mierzymy w dniach?

2) Stała λ w wypadku emanacji radu = $2 \cdot 10^{-6}$ (jednostka czasu w sekundach); po jakim przeciągu czasu promieniotwórczość emanacji spadnie do połowy?

3) Na podstawie pewnych przypuszczeń można wnioskować, że promie-

jest ta stała, tem szybszy będzie spadek i odwrotnie. Jeżeli mamy do czynienia z jakimś ciałem promieniotwórczym nieznanem, wówczas wykreślamy odnośną krzywą, która da możność wyznaczyć λ . Można stwierdzić w ten sposób tożsamość dwu ciał promieniotwórczych. Ta właśnie metoda pozwoliła stwierdzić, że emanacja radu znajduje się w ziemi, źródłach i powietrzu.

V. Hypoteza o przemianach ciał promieniotwórczych; otrzymanie helu z emanacji radu.

Gdy niektóre ciała promieniotwórcze, np. emanacja, polon, ThX, już po krótkim przeciągu czasu tracą swe własności promieniotwórcze, inne, jak rad, uran, zachowują je niezmiennie, a przynajmniej dotychczas nie udało się skonstatować najmniejszej zmiany w sile ich promieniowania. Nasuwa się z całą koniecznością pytanie, skąd czerpią one ten zapas energii, czy pochodzi ona zzewnątrz, czy też jest ona nagromadzona wewnątrz samych ciał. Nie podobna przypuszczać, aby ciała promieniotwórcze pochłaniały zzewnątrz ciepło, jak to ma miejsce w niektórych reakcyach chemicznych, bo temperatura ich jest wyższa niż temperatura środowiska. Piotr Curie wypowiedział kiedyś w formie przypuszczenia, że ciała promieniotwórcze pochłaniają, być może, jakieś niewidzialne promienie, które rozchodzą się w przestrzeniach wszechświatowych. Te promienie musiałyby jednak być niesłychanie przenikliwe, bo ciała promieniotwórcze nie tracą swych własności nawet pod osłoną najgrubszych warstw ołowiu. Hypoteza ta jest niesprawdzalna, gdyż promieni tych nie byłibyśmy w stanie poznać; zresztą nie tłumaczy nam ona przemian, którym ulegają ciała promieniotwórcze.

niotwórczość radu spada do połowy po upływie 1300 lat; czemu by się równała w takim razie stała λ (w sekundach).

Bardzo korzystnem, z punktu widzenia wprawy w zamianie miar, byłoby przerobienie innych jeszcze przykładów, np. R a m s a y i S o d d y znaleźli, że 1 gr. czystego radu może dostarczyć 1mm.³ emanacji; ile mm.³ emanacji otrzymali powyżsi uczeni z 60 mgr. czystego bromku radowego (RaBr₂); ile ważyła otrzymana przez nich emanacja? (Liczby te odpowiadają normalnemu ciśnieniu i temperaturze; zakładamy, że ciężar cząsteczkowy emanacji=200).

Rutherford rozwinął inną hipotezę; podług hipotezy tej atomy ciał promieniotwórczych ulegają ciągłym przeobrażeniom. Tak atom toru przechodzi w atom toru X; atom tego ostatniego w atom emanacji toru, atom emanacji—w atom indukcji (niewidzialnego osadu promieniotwórczości wzbudzonej) i t. d.; można nakreślić całe drzewo genealogiczne dla różnych produktów przemiany.

Tym przemianom towarzyszy wysyłanie cząstek naelektryzowanych, albowiem i inne zjawiska fizyczne znane naprowadzają na myśl, że atomy składają się ze skomplikowanych układów ciałek naelektryzowanych, znajdujących się w szybkim ruchu. W chwilach równowagi niestalej cząstki naładowane elektrycznością odrywają się i dają początek promieniom α i β ; promienie γ powstają w skutek uderzeń cząstek β o cząstki samego ciała.

Prawo postępu geometrycznego jest właśnie wyrazem tego, że zachodzi tu przemiana jednych atomów w drugie; bo i w Chemii, kiedy zachodzi przemiana jednej cząstki w drugą, prawo analogiczne mocszą posiada.

Zasada zachowania energii stosuje się i do zjawisk promieniotwórczości. Energia potencjalna atomów powoli się wyczerpuje. Pierwiastki rad i uran różnią się tylko ilościowo od innych. Przemiany są tu tak wolne, że, jak oblicza Rutherford, promieniotwórczość radu spada do połowy po upływie 1300 lat, promieniotwórczość zaś uranu po upływie 100 milionów lat.

Badania Rutherforda i uczniów jego pozwoliły już nakreślić kilka gałęzi drzewa genealogicznego ciał promieniotwórczych. Okazuje się, iż należy przyjąć, że istnieją pewne produkty przemiany, które nie posiadają własności promieniotwórczych. Czyż więc w tem drzewie genealogicznym nie znajdują się i ciała zwykłe, znane nam oddawna pierwiastki chemiczne?

Rutherford nie uważał tego bynajmniej za wykluczone. Potwierdzenie tego na drodze doświadczalnej było jednym z największych zwycięstw hipotezy o przemianach pierwiastków. W r. 1903 Ramsay i Soddy stwierdzili, że emanacja radu, zamknięta w naczyniu szklanem, daje po pewnym czasie wyraźne widmo pierwiastku helu ¹⁾.

¹⁾ Nauczyciel pokazuje uczniom widmo helu w rurce Geisslerowskiej. Hel znaleziono z początku na słońcu (stąd nazwa), a dopiero później wykryto go

Fakt ten posiada doniosłość niesłychaną. Skoro w jednym przypadku zostało stwierdzone, że ciało, posiadające wszystkie cechy pierwiastku chemicznego, można otrzymać z ciała zupełnie odmiennego, czyż nie jest to możliwem i w innych przypadkach? Czyż nie jest prawdopodobnem, że wszystkie pierwiastki wywodzą się od jednej jedynej pramateryi. Przed kilku miesiącami R a m s a y stwierdził, również na zasadzie badania widmowego, że przy zetknięciu siarczanu miedziowego z emanacją radu powstaje lityn; jest prawdopodobnem, że powstawał przytem sól i potas.

Hypoteza przemian promieniotwórczych ujmuje zjawiska promieniotwórczości w jedną harmonijną całość. Nie można jednak przewidzieć, czy ostoi się ona czasowi i nowym odkryciom. Wszakże właśnie badania w dziedzinie promieniotwórczości pokazały, że głębia tajemników natury jest większa, niż ją sobie wyobrażaliśmy.

w pewnych minerałach ziemskich. Uderzającym jest fakt, że hel stale towarzyszy tu pierwiastkom promieniotwórczym i znajduje się tylko w minerałach promieniotwórczych.