

MARYA ZE SKŁODOWSKICH CURIE.

O NOWYCH CIAŁACH PROMIENIOTWÓRCZYCH.

Praca odczytana na wspólnym posiedzeniu Sekcji
Chemicznej i Fizycznej IX Zjazdu Lekarzy i Przy-
rodników Polskich w Krakowie, dn. 24 lipca 1900.



KRAKÓW

Nakładem Komitetu gospod. IX. Zjazdu lekarzy i przyrod. polskich.

W DRUKARNI UNIwersytetu Jagiellońskiego

pod zarządem Józefa Filipowskiego.

1900

Promienie uranowe.

Punktem wyjścia dla prac nad ciałami promieniotwórczymi było odkrycie przez Becquerela promieni uranowych. Becquerel znalazł w roku 1896, że uran i jego związki wysyłają promienie niewidzialne, które działają na płytki fotograficzne podobnie jak światło, lubo nierównie słabiej, i rozchodzą się w linii prostej. Promienie uranowe różnią się zasadniczo od świetlnych. Własności ich są następujące:

- 1) Promienie uranowe wywołują obrazy fotograficzne bez udziału światła;
- 2) mogą przechodzić przez rozmaite ciała, jako to przez metale, szkło, papier, parafinę, mękę; jednakże przenikają tylko do bardzo nęznacznej głębokości (kilka milimetrów), gdyż są silnie pochłaniane przez wszystkie ciała;
- 3) promienie uranowe, przechodząc przez gazy, nadają im słabe przewodnictwo elektryczne;
- 4) promienie uranowe nie ulegają ani odbiciu, ani załamaniu, ani polaryzacji;
- 5) rozchodzą się w linii prostej, lecz droga, którą mogą przebyć w powietrzu, nie przenosi kilku centymetrów.

Wyżej wymienione własności promieni uranowych pozwalają nam porównać je do dwóch gatunków promieni, które wytwarzają się w rurek Crookesa, czyli do promieni katodowych i do promieni Röntgena, które posiadają te same cechy co promienie

4

uranowe, lubo w różnym stopniu. Można również porównać promienie uranowe do promieni wtórnych, wysyłanych przez metale ciężkie, na które padają promienie Röntgena. Każda z tych analogii, jak zobaczymy dalej, ma rację bytu. Ale zjawisko promieni uranowych ma także inną stronę — i pod tym względem nie znamy dlań żadnej analogii; — mowa tu o samoistności i stałości promieniowania uranowego.

Promieniowanie uranowe jest samoistne, czyli nie jest spowodowane przez żadną znaną przyczynę. Przez długi czas Becquerel myślał, że przyczyną zjawiska jest światło; że uran pochłania energię świetlną i przetwarza ją w energię innej natury. W takim razie promienie uranowe byłyby fosforescencją długotrwałą i bardzo szczególną. Ale doświadczenie przeczy temu zapatrywaniu. Becquerel przekonał się, że uran, przechowywany w zupełnej ciemności od lat 4, działa zawsze z równą siłą. Z drugiej strony niepodobna wzmocnić promieniowania uranu ani przez silne oświetlenie, ani zapomocą innych wpływów zewnętrznych. Promieniowanie uranu jest stałe, nie ulega widocznej zmianie ani pod wpływem czasu, ani pod wpływem światła lub temperatury.

Żadna widoczna zmiana nie zachodzi również w samych związkach uranu, w tej materii, która wypromieniowuje energię, wprawdzie w niezmiernie małej ilości, lecz nieustannie. Uran, na pozór przynajmniej, nie ulega żadnej zmianie fizycznej lub chemicznej; źródło energii promieniowania uranowego pozostaje nieznanem, i ta to właśnie strona zjawiska budzi najgłębsze zajęcie.

Promienie torowe.

W następstwie odkrycia Becquerela nastęrczało się naturalną drogą pytanie, czy uran jest jedynym metalem, posiadającym tak osobliwe własności. Tem pytaniem zajął się Schmidt¹⁾ i znalazł, że jedynymi ciałami, zdolnymi do wysyłania podobnych jak uran

¹⁾ Schmidt, Wied. Ann. T. 65, str. 141.

promieni, są tor i jego związki. Ja również przeprowadziłam w tym samym czasie szereg badań podobnych, i przejrzawszy związki wszystkich prawie znanych pierwiastków, doszłam do tego samego wyniku, nie znając jeszcze pracy Schmidta¹⁾. Promienie uranowe i torowe są często nazywane promieniami Becquerela. Ciała, które wysyłają promienie Becquerela, nazywać będziemy promieniotwórczymi.

Przyrząd mierniczy.

Natężenie promieni Becquerela można badać dwójako, mianowicie na podstawie ich skutków albo fotograficznych albo elektrycznych. Metoda elektryczna polega na mierzeniu przewodnictwa, nabytego przez powietrze pod działaniem substancyj promieniotwórczych; metoda ta jest szybka i daje wyniki liczbowe, które można ze sobą porównywać.

Przyrząd, używany w tym celu przezemnie, składa się z kondensatora o dwóch talerzach *A* i *B* (fig. 1). Substancją czynną, drobno spryszkowaną, rozpościera się na talerzu *B*; nadaje ona pewne przewodnictwo elektryczne powietrzu, zawartemu między talerzami. Dla wymierzenia tego przewodnictwa podnosi się talerz *B* do wysokiego potencjału, łącząc go z jednym biegunem baterji, złożonej z wielkiej liczby ogniw, której drugi biegun połączony jest z ziemią. Drugi talerz *A* zapomocą drutu *CD* łączy się z ziemią. Istnieje zatem między talerzami różnica potencjału, a ponieważ powietrze między nimi zawarte ma pewne przewodnictwo, przeto powstaje między talerzami prąd elektryczny. Potencjał talerza *A* wskazany jest przez elektrometr *E*. Jeżeli przerwiemy w *C* połączenie z ziemią, to talerz *A* otrzymuje nabój, który odchyła elektrometr. Prędkość odchylenia jest proporcjonalną do siły prądu i może służyć do jej wymierzenia. — Lepiej jest wszakże dla dokonania tego pomiaru równoważyć nabój talerza tak, aby elektrometr pozostał na zerze. Naboje, o które tu idzie, są

¹⁾ C. R. de l'Ac. des Sciences, Tom 126, str. 1101.

6

nadzwyczaj stałe i mogą być wyrównane zapomocą kwarcu piezoelektrycznego Q , którego jedna okładka połączona jest z talerzem A , a druga z ziemią. Blaszce

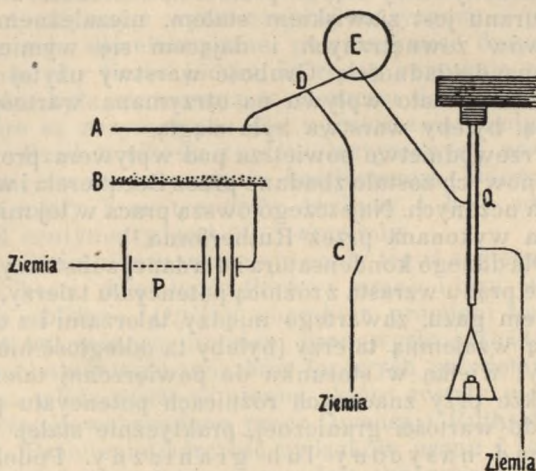


Fig. 1.

kwarcowej daje się obciążenie wiadome, wywierane przez ciężarki, umieszczone na talerzu, zawieszonym u dolnego brzegu blaszki kwarcowej: obciążenie to wywołuje się stopniowo, a jego skutkiem jest stopniowe oswobodzenie wiadomej ilości elektryczności w ciągu czasu, który się mierzy. Sprawę tę można prowadzić w ten sposób, że w każdej chwili ilość elektryczności, przechodząca przez kondensator AB , i ilość elektryczności, dostarczanej przez kwarc, będą się równoważyły ¹⁾. Tym sposobem można wymierzyć bezwzględną wartość tej elektryczności, która w ciągu danego czasu przepływa przez kondensator,

¹⁾ W tym celu najlepiej jest podtrzymywać ręką ciężarek i opuszczać go stopniowo na talerz, uważając, aby obraz elektrometru stał na zerze. Wprawy, potrzebnej do tej czynności, nabiera się bardzo łatwo.

czyli siłę prądu. Pomiar jest niezależny od czułości elektrometru.

Wykonawszy pewną ilość pomiarów tego rodzaju, przekonywamy się, że promieniotwórczość związków uranu jest zjawiskiem stałym, niezależnym od wpływów zewnętrznych i dającym się wymierzać z pewną dokładnością. Grubość warstwy użytej substancji ma mało wpływu na otrzymaną wartość liczebną, byleby warstwa była ciągłą.

Przewodnictwo powietrza pod wpływem promieni uranowych zostało zbadane przez Becquerela i wielu innych uczonych. Najszczegółowsza praca w tej mierze została wykonana przez Rutherforda ¹⁾.

Dla danego kondensatora i dla danej substancji natężenie prądu wzrasta z różnicą potencjału talerzy, z ciśnieniem gazu, zawartego między talerzami i z odległością wzajemną talerzy (byleby ta odległość nie była zbyt wielką w stosunku do powierzchni talerzy). Jednakże przy znacznych różnicach potencjału prąd dąży do wartości granicznej, praktycznie stałej. Jest to prąd nasycony lub graniczny. Podobnie przy pewnej dość znacznej odległości talerzy, prąd nie wzrasta już z tą odległością. Prądu, wytworzonego w takich właśnie warunkach, używałam za miarę promieniotwórczości w moich badaniach.

Prawa, którym ulega przewodnictwo powietrza pod wpływem promieni uranowych, są te same, co dla promieni Röntgena. Mechanizm zjawiska wydaje się w obu razach jednakowy. Teoria jonizacji powietrza pod wpływem promieni Röntgena lub Becquerela, wypowiedziana przez J. J. Thomsona, zgadza się dobrze z doświadczeniem. Według tej teorii drobiny gazu pod wpływem promieni rozkładają się każda na dwa jony, jak to ma miejsce przy dysocjacji elektrolitycznej roztworów. Liczba jonów, które tworzą się w sekundzie, jest proporcjonalna do promieniotwórczości, które gaz pochłania. Prąd elektryczny w kondensatorze polega na ruchu jonów (które posiadają

¹⁾ Phil. Mag. styczeń 1899.

8

ładunek elektryczny), w polu siły elektrycznej. Ażeby przy danem promieniowaniu otrzymać prąd graniczny, trzeba, po pierwsze, aby to promieniowanie było całkowicie pochłonięte przez gaz, co można uzyskać, używając wystarczającej masy gazu — po drugie, pole siły elektrycznej powinno mieć dosyć natężenia, aby liczba jonów, które się ponownie ze sobą łączą, była nieznaczną w stosunku do liczby jonów, które są zużytkowane dla wytworzenia prądu.

Rząd wielkości prądów, otrzymanych ze związkami uranu, przy użyciu kondensatora, którego talerze miały 8 centymetrów średnicy i były oddalone o 3 centymetry, jest 10^{-11} amperów.

Związki toru wywołują prądy tegoż samego rzędu wielkości; działalność tlenków uranu i toru jest bardzo zbliżona. Ogólny charakter promieni torowych jest ten sam, co promieni uranowych; jednakże promieniotwórczość związków torowych przedstawia pewne właściwości odmienne, które zostały niedawno szczegółowo zbadane przez Owensa i Rutherforda¹⁾.

Promieniotwórczość związków uranu i toru jest zjawiskiem atomowem. Jest ona związana z materją i nie może być zniszczona przez różne zmiany jej stanu fizycznego lub chemicznego. Związki lub mieszaniny zawierające uran lub tor, posiadają wszystkie bez wyjątku promieniotwórczość, i to w tem wyższym stopniu, im więcej zawierają w sobie tych metali. Ciała nieczynne, domieszane do czynnych, zmniejszają ich promieniotwórczość, działając zarazem jako materya obojętna i pochłaniająca.

Z pracy mojej wynika, że prócz związków uranu i toru żadne ciało znane nie posiada promieniotwórczości atomowej w granicach czułości mego przyrządu; promieniotwórczość ciał innych, jeżeli istnieje, jest przynajmniej 100 razy słabsza od promieniotwórczości uranu metalicznego.

Niektóre ciała, jak n. p. fosfor biały wilgotny, na-

¹⁾ Owens, Phil. Mag. październik 1899; Rutherford, Phil. Mag. styczeń 1900.

dają powietrzu znaczne przewodnictwo; nie uważam jednak tych ciał za promieniotwórcze w tem samym znaczeniu, jak uran i tor, gdyż z jednej strony fosfor w tych warunkach ulega widocznej zmianie przez utlenienie i wydaje promienie świetlne; z drugiej strony, własność fosforu nie jest atomowa, gdyż fosfor czerwony i związki fosforu nie są czynne.

Minerały promieniotwórcze.

Za pomocą przyrządu mego zbadałam pewną liczbę minerałów; niektóre z nich okazały się czynne jak n. p. uran czarny (pechblenda), chalkolit, kleweit, monazyt, orazyt, toryt i t. d. Wszystkie te minerały zawierają uran lub tor, więc czynność ich tłumaczy się naturalnie, ale natężenie zjawiska jest dla niektórych nadspodziewanem. Tak n. p. niektóre gatunki pechblendy są cztery razy czynniejsze niż uran metaliczny; chalkolit (krystaliczny fosforan uranu i miedzi) jest dwa razy czynniejszy, niż uran; autunit (fosforan wapnia i uranu) jest tak samo czynny jak uran. Te fakty były sprzeczne z poprzednimi wywodami, podług których żaden z pomienionych minerałów nie powinien być mocniej promieniotwórczym, niż uran lub tor. Dla wyjaśnienia tej okoliczności przygotowałam sposobem Debraya sztuczny chalkolit z czystych części składowych, i przekonałam się, że taki sztuczny chalkolit posiada promieniotwórczość normalną, odpowiednią składowi; jest on dwa i pół raza mniej czynny od uranu.

Wydało mi się zatem prawdopodobnem, że jeżeli niektóre minerały posiadają tak znaczną promieniotwórczość, to muszą one zawierać w sobie materję silnie promieniotwórczą, różną od uranu, toru i znanych dotychczas pierwiastków.

Wspólnie z p. Piotrem Curie zajęliśmy się poszukiwaniem tej materji w pechblendzie i zdołaliśmy wykazać, że zapomocą zwyczajnych metod chemii analitycznej można wydobyć z pechblendy materję, których promieniotwórczość jest około 100 000 razy większa niż promieniotwórczość uranu.

Metoda poszukiwań.

Jedynym naszym przewodnikiem w tej pracy była promieniotwórczość, i używaliśmy jej w sposób następujący. Mierzylśmy promieniotwórczość pewnego ciała, następnie poddawaliśmy to ciało rozkładowi chemicznemu; mierzylśmy promieniotwórczość wszystkich ciał otrzymanych i mogliśmy wówczas zdać sobie sprawę, czy materya czynna pozostała z jednym z tych ciał, czy też rozdzieliła się między nimi, i w jakim mniej więcej stosunku. Tym sposobem otrzymuje się wskazanie, które może do pewnego stopnia być przyrównane do wskazania, jakiego mógłby dostarczyć rozbiór widmowy. Pomiar należy wykonywać na ciałach suchych.

Polon, rad i aktyn.

Analiza pechblendy przy pomocy wyżej opisanej metody wykazała, że w mineralu tym znajdują się trzy ciała silnie promieniotwórcze, a chemicznie odrębne: polon, znaleziony przez nas¹⁾, rad, który znaleźliśmy przy pomocy p. Bémonta²⁾, i aktyn, znaleziony przez p. Debierne³⁾.

Polon towarzyszy bizmutowi w pechblendzie i jest doń pod względem analitycznym podobny. Aby koncentrować polon zawarty w bizmutcie, używamy sposobów następujących:

- 1) sublimacja siarczków w próżni; siarczek czynny jest daleko lotniejszy od siarczku bizmutu;
- 2) strącanie frakcyonowane roztworów w kwasie azotowym przez wodę; ta część osadu, która się tworzy z początku, jest daleko czynniejsza niż następne;
- 3) strącenie przez siarkowodór w roztworach w kwasie solnym bardzo skoncentrowanym; siarczki strącone są daleko czynniejsze niż te, które pozostają w roztworze.

¹⁾ C. R. de l'Ac. lipiec 1898.

²⁾ C. R. de l'Ac. grudzień 1898.

³⁾ C. R. de l'Ac. październik 1899 i kwiecień 1900.

Rad jest ciałem zbliżonym do baru i towarzyszy mu w pechblendzie. Oddziela się go coraz dokładniej od baru zapomocą krystalizacji cząstkowej w wodzie czystej, albo też w wodzie, zawierającej alkohol lub kwas solny, Chlorek, który wykrystalizował, jest zawsze znacznie czynniejszy, niż ten, który pozostał w roztworze.

Aktywność wydaje się najbardziej zbliżoną do toru. Wszystkie 3 nowe ciała promieniotwórcze znajdują się w pechblendzie w niezmiernie małej ilości. Aby je otrzymać w stanie koncentracji obecnej, musieliśmy przedsięwziąć przeróbkę kilku tonn odpadków fabrykacji uranu z pechblendy. Pierwsza przeróbka tych odpadków uskutecznia się fabrycznie, poczem zostaje nam długa praca koncentracji i oczyszczenia. W ten sposób z tysięcy kilogramów materiału wydobywamy kilka decygramów materij niesłychanie czynnych w stosunku do minerału, z którego pochodzą. Cała ta praca jest naturalnie bardzo długa, mozolna i kosztowna.

Zadne z nowych ciał promieniotwórczych nie zostało jeszcze odosobnione. Wierzyć w możność ich odosobnienia znaczy to uważać te ciała za nowe pierwiastki. Przekonanie to istotnie kierowało naszą pracą, a opieraliśmy je pierwotnie tylko na widocznym charakterze atomowym promieniotwórczości tych materij, nad którymi pracowaliśmy. Własność ta, która zachowywała się w ciągu ogromnej ilości wykonywanych przemian chemicznych, która w tych przemianach obierała zawsze tę samą drogę i objawiała się z siłą odpowiednią do ilości wydobytej materij nieczynnej — własność ta nie mogła być przypadkowa, musiała ona być przywiązana do materij, której towarzyszyła tak wytrwale, i stanowić cechę zasadniczą tej materij. W naszym przekonaniu bar promieniotwórczy był więc czemś różnym od baru zwyczajnego, równie jak polon nie był bizmutem. — Względy czysto chemicznej natury wzmocniły to przekonanie. Nie znaleźliśmy wprawdzie dotąd reakcji pozwalających odłączyć rad od baru, a polon od bi-

12

zmutu, a gdybyśmy nawet takie reakcje znali, nie moglibyśmy ich użyć, ponieważ ilość ciał, które chcemy oddzielić, jest za mała, a próby z ciałami skoncentrowanymi za ryzykowne. Natomiast wykazaliśmy różnice rozpuszczalności, które pozwoliły nam ustalić dla ciał czynnych metody koncentracji regularne i pewne. Wiadomo, że różnice reakcji między ciałami chemicznymi bliskimi są niewielkie, a pod tym względem rad różni się zapewne niemniej od baru, jak bar od strontu.

Aby dowieść istnienia nowego pierwiastka, chemicy opierają się na analizie widmowej i na pomiarach ciężaru atomowego.

Wykonanie kompletnej analizy widmowej jest pracą, która wymaga wielkiej znajomości spektroskopii i wielkiej wprawy. P. Demarçay oddał nam w tym przypadku niezmierną przysługę, zgodziwszy się wykopać dla nas takie analizy. Dzięki jego uprzejmości otrzymaliśmy pewność, opartą na metodzie naukowej powszechnie uznanej — podczas gdy wartość własnej naszej metody mogła podlegać wątpliwościom.

P. Demarçay fotografował kolejno widma różnych ciał przez nas otrzymanych. Fotografując widma chlorku baru radonośnego, zauważył on pojawienie się nowego widma charakterystycznego, które stawało się coraz zupełniejszym i wydatniejszym w miarę, jak promieniotwórczość wzrastała z koncentracją. W ostatnich próbkach widmo to występuje z równą siłą, jak widmo baru, tak, że rad i bar znajdują się zapewne w tych próbkach w ilościach podobnych. Widmo radu zawiera już obecnie koło 15 dobrze scharakteryzowanych linii, nie licząc słabszych.

Co do mnie, oznaczyłam ciężar atomowy baru radonośnego i znalazłam, że ciężar ten wzrasta z koncentracją. Ostatnie oznaczenie dało 146 jako ciężar atomowy baru radonośnego, podczas gdy bar zwykły daje 138.

Istnienie radu jako odrębnego pierwiastka wydaje się zatem zupełnie stwierdzonym. Odsobnienie radu nie przedstawiałoby zresztą trudności; jedyna

trudność wynika z kosztów przeróbki materji pierwotnej.

Co do polonu i aktynu, p. Demarçay nie znalazł dla nich charakterystycznego widma; być może, że koncentracja nie jest wystarczająca, albo że metoda spektroskopowa w tym przypadku nie jest tak korzystna, jak dla widm metalów grupy baru. Zresztą koncentracja polonu i aktynu jest o wiele trudniejszą, niż koncentracja radu.

Skoro pechblendą zawiera ciała promieniotwórcze o tak energicznem działaniu, nasuwa się pytanie, czy promieniotwórczość uranu z niej wydobytego nie powinna być przypisana domieszce tych ciał. Istotnie najnowsze prace wykazały, że uran nie jest nigdy wolny od aktynu; wydobywając aktyn, zawarty w uranie, można bardzo znacznie obniżyć promieniotwórczość tego ostatniego. Jakkolwiek aktyn jest bardziej zbliżony do toru, ma jednak z uranem wiele wspólnych własności, dlatego to promieniotwórczość zdaje się należeć do uranu. Niewiadomo jeszcze, czy można uzyskać uran zupełnie nieczynny. Co do toru, niema jeszcze rezultatów pewnych.

Własność nowych ciał promieniotwórczych.

Wiemy już, że nowe ciała promieniotwórcze są około stu tysięcy razy czynniejsze od uranu, gdy chodzi o przewodnictwo, które nadają one powietrzu. Prądy, wywoływane przez te ciała w powietrzu, mają przy użyciu naszego przyrządu rząd wielkości 10^{-6} amperów; prądy te mogą być mierzone za pomocą galwanometru. Wszakże metoda pomiaru za pomocą prądu granicznego nie daje się łatwo zastosować do tych ciał. W kondensatorze naszym promienie uranowe i torowe są prawie zupełnie pochłonięte przez powietrze, zawarte między talerzami, a różnica potencjału 100 woltów wystarcza do otrzymania prądu granicznego przy użyciu uranu i toru. Ale inaczej rzecz się ma z nowymi ciałami promieniotwórczemi. Najpierw mamy tutaj promienie bardzo przenikliwe,

14

które nie są bynajmniej zużytkowane w kondensatorze, lecz przechodzą na zewnątrz; powtóre prąd graniczny mógłby być otrzymany tylko dla niezmiernie wielkich różnic potencjału. — Aby całkowicie wyzskać promieniowanie, trzeba by mieć między talerzami pole elektryczne nadzwyczaj silne, a przytem napełnić kondensator powietrzem ściśnionem, aby mieć masę powietrza, wystarczającą do pochłonięcia promieniowania.

Dla celów koncentracji ciał promieniotwórczych wystarcza mierzyć je zawsze w tych samych warunkach.

Przenikliwość promieni.

Promienie nowych ciał promieniotwórczych mogą przechodzić przez różne ciała, podobnie jak promienie uranu; ale ich zdolność przenikania jest bardzo różna. Promienie polonu są bardzo mało przenikliwe; w powietrzu mogą one przebyć zaledwie drogę kilku centymetrów, a stałe ciała n. p. metale, szkło, mogą być przebyte tylko w niezmiernie cienkich warstwach (kilka setnych milimetra). Rad wysyła, podobnie jak polon, znaczną ilość promieni mało przenikliwych; ale oprócz tego wysyła także promienie bardzo przenikliwe: rad w powietrzu działa na odległość metra i więcej, a płyta ołowiu, mająca kilka centymetrów grubości, nie wystarcza do zatrzymania wszystkich jego promieni. Aktyn wysyła również promienie, mające znaczną zdolność przenikania.

Działanie fotograficzne.

Działanie fotograficzne polonu, radu i aktynu jest bardzo energiczne. W pobliżu tych ciał płytka fotograficzna otrzymuje wrażenie natychmiastowe. Polon nie może działać fotograficznie na odległość, i działanie jego jest bardzo osłabione przez czarny papier, lecz działanie bezpośrednie na płytkę w zupełnej ciemności jest bardzo silne, jeżeli płytka jest bardzo blisko. Rad i aktyn działają na znaczną odległość i przez czarny papier; za pomocą tych ciał otrzymu-

jemy radyogramy na odległość metra i więcej, a ilość radu i aktynu, potrzebna do otrzymania radyogramu, nie przenosi paru centygramów, tak, że można używać tych ciał jako punktów promieniejących.

Działanie na ciała fluoryzujące.

Promienie polonu, radu i aktynu wywołują fluorescencję ciał fluoryzujących pod wpływem światła, jak platysinek barowy, siarkan uranowo-potasowy, cynchonina, siarczek cynku czyli sfaleryt i t. d. Własność tę, której szukaliśmy napróżno w związkach uranu i toru, zauważyliśmy po raz pierwszy w polonie średniej koncentracji. Przy obecnej koncentracji polon, rad i aktyn wywołują bardzo piękną fluorescencję. Można wykonać doświadczenie w sposób następujący; przykrywamy ciało promieniotwórcze cienkim ekranem glinowym ($\frac{1}{100}$ milimetra grubości), i na ekranie umieszczamy sól fluoryzującą; widzimy wówczas w ciemności plamę świetlną naprzeciw ciała czynnego.

Wszystkie związki baru radonośnego świecą w ciemności. Świecenie to jest samoistne; związki radu świecą z równą siłą po długim pobycie w ciemności. Świecenie siarkanu i węglanu jest słabe; najsilniejsze światło wydają chlorek i bromek bezwodne i suche. Światło tych soli jest o tyle silne, że gram podobnej materii, zawarty w rurce szklanej, może być widziany w ciemności na odległość 20 metrów; można z łatwością czytać gazetę, oświetlając ją za pomocą tej rurki. Bar radonośny jest pierwszym przykładem ciała samoistnie świecącego w sposób nieustanny. Światło jego jest w części przynajmniej spowodowane przez fluorescencję baru pod wpływem radu w nim zawartego.

Działanie chemiczne promieni.

Promienie radu mogą wywoływać pewne zmiany chemiczne w ciałach, poddanych ich działaniu. Tak n. p. szkło i porcelana, wystawione na działanie promieni radu, przez zetknięcie z radem lub na odległość, barwią się, przybierając zwykle kolor fioletowy, bru-

16

natny lub szary, stosownie do natury szkła lub porcelany. Barwa ta przenika wewnątrz szkła na kilka milimetrów głębokości i jest trwała, — nie niknie po usunięciu radu. Można za pomocą radu i ekranów, nieprzeźroczystych dla jego promieni, otrzymać rodzaj radyogramu bezpośrednio na szkle.

Promienie radu, działając na platysinek baru, przetwarzają go w odmianę brunatną, mniej fluoryzującą. Platysinek baru radonośnego przetwarza się samoistnie w tę odmianę brunatną, przyczem kryształy nabierają dychroizmu. Promienie radu barwią sól kamienną i inne sole alkaliczne w podobny sposób, jak to czynią promienie katodowe.

Kryształy chlorku baru radonośnego są bezbarwne zaraz po utworzeniu, — ale stopniowo nabierają barwy żółtej lub też pięknej barwy różowej; barwa ta niknie przy ponownem rozpuszczeniu w wodzie.

W pewnych warunkach, dotąd niedokładnie znanych, zauważyliśmy słabą ozonizację powietrza w pobliżu radu.

Działanie na parę przesyconą.

Wiadomo, że para wodna przesyconą, która się wydobywa z kotła przez niewielki otwór, skrapla się, jeżeli powietrze zawiera drobne pyłki. Wiadomo również, że promienie katodowe i promienie Röntgena, padając na taką parę, powodują również jej skroplenie; w tym przypadku jony, wytworzone w powietrzu pod wpływem promieni, grają rolę pyłków i służą jako ośrodki zgęszczenia pary wodnej. To samo działanie wywierają promienie radu. Jeżeli skierujemy je na parę, wydobywającą się z kotła, tworzy się na ich drodze biały obłoczek, który wskazuje utworzenie się kropel wodnych w strumieniu pary.

Działanie na iskrę elektryczną.

Promienie radu zmniejszają odległość eksplozywną między przewodnikami naładowanymi elektrycznością przeciwną; można także powiedzieć, że obniżają one różnicę potencjału, potrzebną do wywołania

iskry. Promienie radu ułatwiają zatem powstanie iskry elektrycznej w powietrzu.

Zmiany w promieniotwórczości.

Ogólny charakter promieniotwórczości nowych ciał jest ten sam, co dla uranu; wszelako nie można mówić o stałości tego zjawiska bez pewnych ograniczeń. Promieniotwórczość związków radu wzrasta znacznie przez miesiąc mniejwięcej od chwili, gdy związki te zostały otrzymane w stanie stałym, i dąży do pewnej wartości granicznej, która może być 4 lub 5 razy większa od pierwotnej. Rozpuszczając związki radu i pozostawiając je przez parę dni w roztworze, przywraca im się promieniotwórczość pierwotną.

Co do związków polonu, to promieniotwórczość ich przeciwnie zmniejsza się powoli i nie może już następnie wrócić do wartości pierwotnej; zmiana jest powolna, tak że nie wiemy dotąd, czy istnieje i tutaj wartość graniczna.

Promieniotwórczość wywołana.

Promienie radu i aktynu posiadają własność nadawania promieniotwórczości czasowej ciałom, na które padają. Polon działa podobnie w daleko mniejszym stopniu. Promieniotwórczość, wywołana w ten sposób, trwa przez czas jakiś po usunięciu ciał, które ją wywołały, ale zmniejsza się i niknie stopniowo. Promieniotwórczość wywołaną można otrzymać przez działanie radu lub aktynu na odległość, lecz łatwiej przez zetknięcie z temi ciałami w stanie stałym lub w roztworze.

Zachowanie się ciał promieniotwórczych w polu siły magnetycznej.

Na zasadzie dotychczas wymienionych własności, promienie ciał promieniotwórczych mogą być porównane zarówno do promieni katodowych, jak do promieni Röntgena. Zarówno promienie katodowe, jak promienie Röntgena jonizują powietrze, działają foto-

18

graficznie, wywołują fluorescencję, nie ulegają odbiciu i załamaniu prawidłowemu, ani polaryzacji. Ale między jednymi i drugimi istnieje różnica zasadnicza: promienie katodowe doznają odchylenia w polu siły magnetycznej i posiadają naboje elektryczne; promienie Röntgena nie mają naboju elektrycznego i nie ulegają działaniu magnesu. Promienie katodowe zachowują się jak niezmiernie małe cząsteczki materyalne, naładowane elektrycznością ujemną i wysyłane przez katodę z ogromną szybkością; takie cząsteczki powinny istotnie być odchylone ze swej drogi przez magnes.

Należało rozpoznać, czy promienie ciał promieniotwórczych zachowują się pod tym względem jak promienie katodowe lub jak promienie Röntgena. Panowie Giesel, Meyer i von Schweidler i Becquerel wykazali prawie jednocześnie, że promienie radu bywają odchylane w polu magnetycznym, w podobny sposób jak promienie katodowe. P. Curie znalazł następnie, że promieniowanie radu zawiera dwie grupy promieni, zupełnie różne: promienie odchylające się w polu magnetycznym i promienie nie odchylające się w polu magnetycznym. Pierwsze są, na ogół wzięwszy, znacznie przenikliwsze od drugich. W figurze 2 rad zawarty

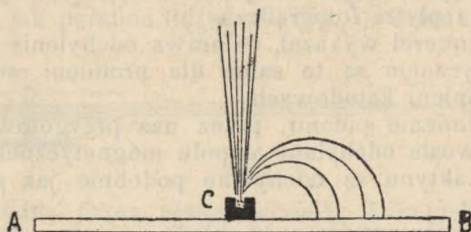


Fig. 2.

w pudełeczku ołowianem bez pokrywki *C*, umieszczony jest na płytce fotograficznej *AB*. Pole magnetyczne jest prostopadłe do płaszczyzny papieru. Pro-

mienie radu wychodzą z pudełeczka *C*; niektóre z nich idą po linii prostej, inne odchylają się, i opisując linie krzywe trafiają płytke fotograficzną, na której wytwarzają obraz. Becquerel pokazał w ten sposób, że istnieją promienie mniej lub więcej odchylane przez siłę magnetyczną, i otrzymał prawdziwe widmo magnetyczne na płytce fotograficznej. W innym doświadczeniu (fig. 3) Becquerel umieścił

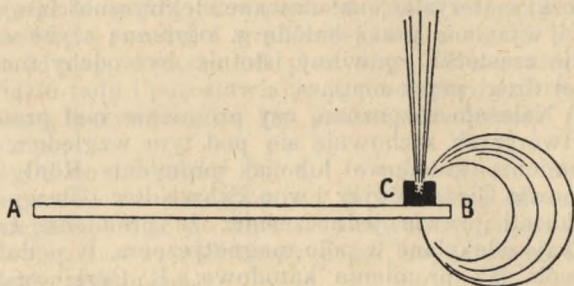


Fig. 3.

rad na brzegu płytki fotograficznej w pudełku o dnie tak grubem, że rad nie działał bezpośrednio na płytkę; gdy wywołujemy pole magnetyczne, promienie radu opisują zupełne koła na zewnątrz brzegu płytki i powracając do punktu wyjścia, wywołują obraz na płytce fotograficznej.

Becquerel wykazał, że prawa odchylenia w polu magnetycznym są te same dla promieni radu, jak dla promieni katodowych.

Promienie polonu, przez nas przygotowanego, nie są wcale odchylane w polu magnetycznym, promienie aktynu są odchylane podobnie jak promienie radu.

Promieniowanie radu składa się zatem po części z promieni podobnych do promieni katodowych, po części z promieni podobnych do promieni Röntgena. Ta dwoistość promieniowania bynajmniej nie utrudnia analogii. W rurkach Crookesa promienie Röntgena tworzą się wszędzie, gdzie promienie katodowe

20

napotykają powierzchnię ciała stałego. Z drugiej strony prace Sagnaca wykazały, że gdy promienie Röntgena napotykają powierzchnię stałą, powierzchnia ta staje się źródłem promieni przekształconych, tak zwanych promieni wtórnych. Podług najnowszej pracy Curie i Sagnaca te promienie wtórne są w części przynajmniej promieniami katodowymi. Zatem powierzchnia stała, napotykana przez promienie katodowe, wydaje promienie Röntgena; — powierzchnia stała, napotykana przez promienie Röntgena, wydaje promienie katodowe; w bezpośrednim sąsiedztwie stałej powierzchni nie mogą więc istnieć jedne z tych promieni bez drugich.

Nabój elektryczny promieni radu.

Wiemy, że promienie katodowe posiadają nabój elektryczny ujemny; zachowują się one jak drobne pociski materialne, naładowane elektrycznością odjemną, i oddające swój nabój ciałom, przez które są pochłonięte. P. Curie i ja znaleźliśmy, że promienie odchylane radu są również naładowane elektrycznością ujemną. Ponieważ powietrze, przez które przechodzą promienie radu, ma znaczne przewodnictwo, przeto przyjmowaliśmy nabój promieni na krążek metalowy, otoczony zewsząd substancją izolującą, jak parafina lub ebonit (fig. 4). Promienie radu

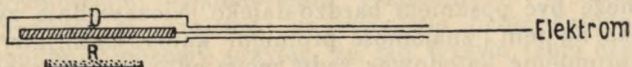


Fig. 4.

przechodzą przez nieprzewodnik, którego warstwa jest bardzo cienka, bywają pochłonięte przez krążek metalowy *D*, i ten ostatni ładuje się ujemnie. Z drugiej strony, jeżeli rad wysyła z siebie elektryczność ujemną, to musi on elektryzować się dodatnio. Sprawdziliśmy to, zamykając rad w pudełeczku izolującym o bardzo cienkich ściankach. Elektryczność ujemna uchodzi na zewnątrz pudełeczka z promieniami, a

wewnątrz elektryczność dodatnia nagromadza się na radzie (fig. 5) i może być skonstatowana za pomocą elektrometru.

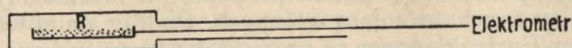


Fig. 5.

Rad nie może elektryzować się dodatnio na powietrzu, bo nabój rozprasza się nieustannie przez przewodnictwo powietrza otaczającego. — Ale rad, umieszczony w zupełnej próżni, musi łądować się samoistnie aż do bardzo wysokiego potencjału; mamy tu pierwszy przykład ciała, które przybiera samoistnie nabój elektryczny.

Dorn i Becquerel wykazali, że promienie radu odchylają się w polu elektrycznym tak jak promienie katodowe. Nie ulega wątpliwości, że prędkość promieni radu może być powiększona lub zmniejszona przez działanie pola elektrycznego, jak to ma miejsce dla promieni katodowych. Rad, umieszczony w próżni zupełnej, musi się elektryzować, dopóki pole elektryczne, wytworzone przez jego nabój, nie stanie się dosyć silne, aby uniemożliwić dalsze wysyłanie cząsteczek naelektryzowanych ujemnie.

Tak więc odkrycie nowych ciał promieniotwórczych stało się źródłem licznych badań. Analogia z promieniami katodowymi i promieniami Röntgena może być posunięta bardzo daleko. Niezawodnie zyska na tem i znajomość promieni katodowych, gdyż »promienie katodowe« radu mogą odbywać znaczną drogę w powietrzu i przechodzić przez grube ekrany, co jest niemożliwe dla promieni katodowych, wytworzonych w rurkach Crookesa.

Istota tych promieni.

Wszelako zawsze jeszcze pozostaje w zawieszaniu pytanie co do źródła energii ciał promieniotwórczych. My otrzymaliśmy ciała, których energia promieniująca jest nieporównanie większa niż uranu;

staraliśmy się wykazać, że ciała te zawierają pierwiastki nowe, i zdołaliśmy dowieść tego dla radu; ale szczególna natura tych pierwiastków, które ustawicznie wypromieniowują energię, pozostaje niezrozumiała i jesteśmy pod tym względem w dziedzinie hipotez.

Można rozmaicie zapatrywać się na tę kwestyę. Jedna z teoryj, które należy wziąć pod uwagę, jest oparta na analogii między promieniami radu i promieniami katodowymi. Dotąd nie poznano nigdy istnienia elektryczności bez materji; promienie katodowe mają ładunek elektryczny; to nas skłania do myślenia, że są one materjalne. Podług teoryi Crookesa promienie katodowe są materją naelektryzowaną, wysyłąną przez katodę; jest to »materja promienista« Crookesa. Doświadczenie okazało, że prędkość promieni katodowych jest bardzo wielka, zaledwie 3 razy mniejsza od prędkości światła.

J. J. Thomson wykazał, że jeżeli uważać będziemy promienie katodowe za cząsteczki materjalne naelektryzowane, to cząsteczki te posiadają przy równej masie 1000 razy więcej elektryczności, niż wodór oswobodzony w elektrolizie. Według teoryi J. J. Thomsona masa każdej z cząsteczek tych jest około 1000 razy mniejsza niż masa atomu wodoru. Tak więc cząsteczki te nie są to nawet swobodne atomy chemiczne, ale drobne cząstki atomów, obdarzone prędkościami niezmiernemi. Podobnie jak w rurce Crookesa te cząsteczki są wysyłane przez katodę, podobnie możemy przyjąć, że rad wysyła takie cząsteczki nieustannie w przestrzeń, a z prac dotychczasowych wynika, że masa cząsteczek jest równie mała, jak w promieniach katodowych. — Materja promieniotwórcza jest to zatem materja, która się rozprasza, i rad powinien tracić na wadze. Ale cząsteczki są tak małe, że chociaż ich nabój elektryczny jest łatwy do skonstatowania, jednak masa odpowiadająca temu nabojowi jest zupełnie nieznaczna, i trzeba by milionów lat, aby rad utracił na wadze jeden

równoważnik wyrażony w miligramach. Sprawdzić tego niepodobna.

Teorya materyalistyczna promieniotwórcza zdaje dobrze sprawę z zauważonych dotąd zjawisk. Jednakże, jeżeli ją przyjmiemy, musimy uznać, że materya promieniotwórcza nie jest w stanie chemicznym zwykłym. Atom w tym przypadku nie jest niezmienny i niepodzielny, skoro cząsteczki jego są wypromieniowywane. Materya promieniotwórcza ulega przemianie chemicznej, i ta to przemiana jest źródłem energii promieniotwórczości; ale nie jest to przemiana chemiczna zwykła, gdyż tutaj sam atom ulega zmianie. Jest zresztą widoczne, że jeżeli promieniotwórczość wynika z przekształcenia się materyi, to przekształcać się tutaj musi sam atom, skoro promieniotwórczość jest zjawiskiem atomowem.

Jeżeli przeciwnie przyjmiemy, że materya promieniotwórcza jest niezmienna, wtedy wypadnie nam znów poszukiwać źródła energii promieniotwórczości. Dopóki zaś źródła tego nie znajdziemy, promieniotwórczość jest przynajmniej pozornie w sprzeczności z drugim prawem termodynamiki (zasadą Carnota), według którego system o temperaturze niezmiennej nie może dostarczyć energii, jeżeli jej znikąd nie otrzymuje. Możliwość przyjąć naprzykład, że prawo Carnota nie jest zupełnie ogólnem, że nie stosuje się ono do niektórych zjawisk molekularnych; możebność takich wyjątków była już przewidziana przez Helmholtza i innych uczonych¹⁾. Materya promieniotwórcza byłaby to w takim razie materya, która posiada zdolność przetwarzania izotermicznie w pracę ciepła otaczającego środowiska. — Hypoteza ta jest równie niezgodna z zasadniczymi prawami fizyki, jak poprzednia hypoteza przekształcania pierwiastków z zasadami chemii.

¹⁾ Helmholtz, Journal de Physique 1884. Gouy, Journal de Physique 1888.

POŁOŻENIA WYDARZENIA W ŻYCIU NAUKOWYM I OSOBISTYM

- 1892 Prix Dappert, Académie des Sciences de Paris
- 1893 Prix Cassini, Académie des Sciences de Paris
- 1894 Prix Jeannel, Académie des Sciences de Paris
- 1895 Prix Dumas de l'Académie des Sciences avec P. Curie
- 1896 Prix de la Société Royale de France, Paris (en commun avec M. E. Bertrand)
- 1897 Actories of the Royal Institution of Great Britain
- 1898 Prix de la Sorbonne
- 1899 Prix de la Sorbonne, II^e Classe
- 1900 Médaille d'Or de la République Française
- 1901 Grand Prix de Médecine d'Argentine pour 1902 Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale
- 1902 Grand Prix de Médecine d'Argentine

WYDARZENIA W ŻYCIU NAUKOWYM I OSOBISTYM

- 1903 Médaille Dufrenoy (en commun avec P. Curie)
- 1904 Médaille d'Or de la Ville de Paris (en commun avec P. Curie)
- 1905 Médaille Duvoy Société Royale de Londres (en commun avec P. Curie)
- 1906 Médaille de la Société Royale de France (en commun avec P. Curie)

„Des diplômes de docteur honoris causa, de membre correspondant des Académies étrangères, viennent encombrer les tiroirs de la maison de Sceaux, sans que la lauréate songe à les mettre en vue, ou même à en dresser une liste.”

(Ève Curie — Madame Curie)

