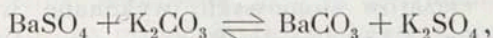


Dlatego też bar oznacza się wagowo jako siarczan. Przez stapianie z węglanami sodu lub potasu zamienia się on z łatwością na węglan. Choć reakcja ta jest w gruncie rzeczy odwracalna:



wystarcza jednak niewielki nadmiar węglanu potasu do tego, by praktycznie całą ilość siarczanu baru zamienić na węglan. Reakcję tę stosuje się w technice w celu otrzymania węglanu  $\text{BaCO}_3$ , używanego narówni z siarczanem do sporządzania białej farby olejnej.

## V. RAD I PIERWIASTKI PROMIENIOTWÓRCZE.

### 1. WŁASNOŚCI RADU.

*A. Historia odkrycia pierwiastków promieniotwórczych.* Układ perjodyczny pierwiastków, opracowany w r. 1869 przez Dymitra Mendelejewa, jest jednym z najdonioślejszych uogólnień chemii nieorganicznej, stwarza on bowiem podstawę racjonalnej klasyfikacji pierwiastków chemicznych, a zarazem wskazuje na podobieństwo pierwiastków, należących do tych samych kolumn pionowych. Chociaż, ściśle rzeczy biorąc, — układ ten nie jest zupełnie prawidłowy z tego względu, że po 2 okresach 8-mioczłonowych, następują dwa okresy złożone z 18-u pierwiastków, a po nich jeden wielki okres z 32 pierwiastków, oraz ostatni okres, złożony z 6 pierwiastków, — chociaż w układzie tym nie wszystkie pierwiastki zajmują miejsca, odpowiadające kolejnemu następstwu ich ciężarów atomowych (Ar i K, Co i Ni, Te i J), — ugrupowanie pierwiastków chemicznych w następujące po sobie szeregi, opracowane przez Mendelejewa, pozwala się domyślać, że atomy poszczególnych pierwiastków muszą mieć coś wspólnego, — że są one prawdopodobnie zbudowane z tych samych składników elementarnych w pewien prawidłowy sposób.

Układ perjodyczny pierwiastków wznowił ideę filozofów starożytnej Grecji o jedności budowy materji, tę ideę, której konkretnym wyrazem była hipoteza, postawiona w r. 1825 przez angielskiego lekarza Williama Prouta, polegająca na przypuszczeniu, że atomy wszystkich pierwiastków są zbudowane

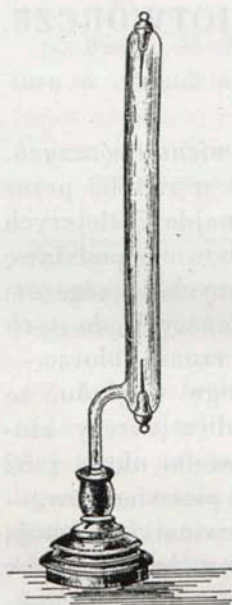
wane z atomów wodoru, że przeto ich ciężary atomowe winny wyrażać się wielokrotnościami ciężaru atomowego wodoru, czyli liczbami całkowitemi. Wiadomo jednak, że dokładne oznaczenia ciężarów atomowych, wykonane w latach sześćdziesiątych przez belgijczyka Stasa, a w nowszych czasach przez amerykańczyka Richardsa i jego uczniów, wykazały błędność tych przypuszczeń Prouta.

Układ perjodyczny pierwiastków, występowanie pierwiastków o zmiennej wartościowości, istnienie jonowych ładunków elektrycznych oraz prawidłowości, wykazywane przez widma pierwiastków, wskazywały siłą faktów na złożoność atomów,

które dotychczas uważano za ostateczne — niepodzielne i jednolite składniki materji.

Nauka nie rozporządzała niestety środkami i metodami doświadczalnemi, któreby pozwoliły wnikać w tajemnicę owej przypuszczalnej budowy atomów. Zwykle bowiem procesy chemiczne, badane w pracowniach, zachodzą pomiędzy cząsteczkami lub atomami, które odgrywają w procesach chemicznych rolę niepodzielnych indywiduów.

Dopiero w ostatnich 35 latach poznano nowe kategorie zjawisk oraz obmyślono nowe metody badania doświadczalnego, które pozwoliły wnikać do wnętrza atomów oraz stwierdzić złożoność ich budowy. Punktem zwrotnym stało się odkrycie pierwiastków promieniotwórczych oraz stwierdzenie samorzutnego rozpadu atomów tych pierwiastków na atomy innych pierwiastków. Ze względu na wielką doniosłość teoretyczną pierwiastków promieniotwórczych przedmiotowi temu poświęcimy nieco więcej miejsca, aniżeli by to wynikało z charakteru i zakresu naszych wykładów.



Rys. 72.

Promienie »katodowe«  
w rurce Crookesa.

Przypomnijmy przedewszystkiem pokrótce najważniejsze etapy, wiodące do odkrycia zjawisk promieniotwórczości. Podczas badania wyładowań elektrycznych w gazach bardzo rozrzedzonych odkryto t. zw. promienie katodowe, wysyłane przez



katodę, prostopadle do jej powierzchni (W. Hittorf w r. 1869 i W. Crookes w r. 1876). Promienie te same przez się nie są widoczne. Uderzając o szkło lub o inne substancje, wywołują one jednak silną fluorescencję tych ostatnich. Fizycy angielscy stwierdzili, że promienie te są strumieniami szybko pędzących cząstek, naładowanych elektrycznością ujemną. Cząstki te, zwane elektronami, ulegają w polu elektrycznym odchyleniu ku biegunowi dodatniemu, a w polu magnetycznym odchylają się według znanego prawa Biota i Savarta. Szybkość ich ruchu jest olbrzymia, zbliża się bowiem do szybkości światła.

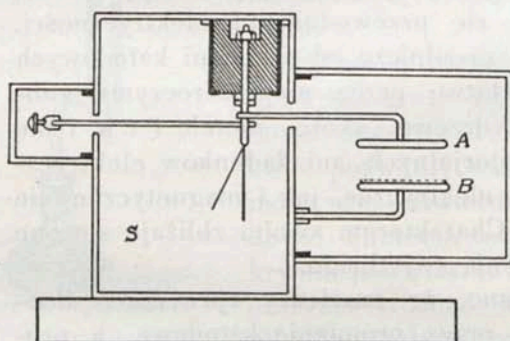
W roku 1895 znany fizyk monachijski Roentgen odkrył nowy rodzaj promieni, nazwanych przezeń promieniami X, obecnie znanych ogólnie pod nazwą promieni roentgenowskich. Promienie te powstają wskutek uderzeń promieni katodowych o substancje stałe. Stwierdzono bowiem, że promienie katodowe, padając na szkło lub inne substancje stałe, są przez nie pochłaniane i wywołują jednocześnie ich fluorescencję. Pod wpływem promieni katodowych substancje stałe wysyłają promienie niewidzialne, które wywołują reakcje chemiczne, np. czernienie klisz fotograficznych, oraz jonizację gazów, dzięki której gazy stają się przewodnikami elektryczności. Promienie te różnią się zasadniczo od promieni katodowych tem, że przenikają dosyć łatwo przez nieprzezroczyste substancje stałe, np. papier, drzewo, skórę, metale i t. p. i nie zawierają ani cząstek materjalnych ani ładunków elektrycznych; to też zarówno pole elektryczne, jak i magnetyczne nie wpływa na ich kierunek. Charakterem swoim zbliżają się one do zwykłego promieniowania świetlnego.

Początkowo przypuszczano, że pomiędzy zjawiskami fluorescencji, wywoływanymi przez promienie katodowe, a promieniami roentgenowskimi istnieje pewna analogja. Opierając się na tej hipotezie, fizyk francuski Henryk Becquerel, badał w r. 1896 ciała fluoryzujące pod wpływem światła zwykłego oraz promieni roentgenowskich. Doświadczenia te doprowadziły go do doniosłego odkrycia, że uran oraz jego związki wysyłają samorzutnie promienie, podobne do promieni katodowych i roentgenowskich. Dowiódł on, że promienie uranu działają na płytę fotograficzną, przenikają ciała nieprzezroczyste, nawet cienkie płytki metalowe oraz jonizują

powietrze i inne gazy. Promienie te wysyłają nie tylko uran, ale i jego sole bez żadnych impulsów zewnętrznych, a prztem bezustannie.

⊗ Światło to energia. A więc nie może ono powstawać z niczego. Ale sole uranowe zdają się przeczyć zasadniczemu prawu fizyki: prawu zachowania energii. Wysyłając bowiem bezustannie energję promienistą, stanowią one niejako »perpetuum mobile«. Odkrycie tego promieniowania posiada więc ogromną doniosłość: nie tylko praktyczną, lecz — w jeszcze większym stopniu — teoretyczną. Wywołało też ono liczne i nader dokładne badania. Zasługa dokonania dalszych odkryć, które w znacznej mierze przyczyniły się do wyjaśnienia tej zagadki — należy się niezaprzeczenie Piotrowi Curie i jego małżonce, naszej znakomitej rodaczce: Marji Skłodowskiej-Curie. Badania tej znakomitej uczonej doprowadziły do odkrycia dwóch nowych pierwiastków: *polonu* i *radu* i zapoczątkowały powstanie nowej dziedziny wiedzy, zwanej »radjologją« ⊗

⊗ B. Promieniotwórczość, jako cecha nowych pierwiastków. Z metod ilościowych, stosowanych do badania owej tajemniczej własności uranu, którą dalej zwać będziemy »promienio-



Rys. 73.

Elektrometr i komora jonizacyjna Piotra Curie.

twórczością«, najbardziej nadawała się metoda elektryczna, oparta na zdolności uranu do wyładowywania naładowanego elektroskopu. Wiadomo bowiem, że suche powietrze, podobnie jak inne gazy, jest nieprzewodnikiem elektryczności. W obecności »preparatów uranowych« natomiast powietrze zaczyna przewodzić prąd: wskutek tego naładowa-

ny elektroskop, umieszczony w pobliżu uranu, rychło traci swój nabój. Ponieważ przewodnictwo elektryczne gazów, podobnie jak przewodnictwo cieczy, przypisujemy obecności jonów, przeto wyładowanie elektroskopu w obecności »preparatów uranowych« przypisujemy jonizacji powietrza pod wpływem promieni, przez te preparaty wysyłanych. ⊗



⊗ P. Curie zastosował do pomiarów »zdolności jonizacyjnej« badanych preparatów przyrząd, zestawiony z dwóch komór (rys. 73): lewa komora *S* zawiera elektrometr, posiadający listek złoty, którego odchylenie mierzymy w mikroskopie na skali, umieszczonej w okularze mikroskopu. Do elektrometru przylega z prawej strony »komora jonizacyjna«, zawierająca dwie płytki poziome *A* i *B*. Płytką *A* jest połączona z główką elektrometru, jak to wynika z rysunku. Płyta *B* zaś jest izolowana i służy do umieszczenia w komorze preparatu »promieniotwórczego«. Pod wpływem promieni powietrze, znajdujące się w komorze jonizacyjnej, ulega jonizacji: wskutek tego ładunek płytki *A* znika powoli, co przejawia się w opadaniu złotego listka w elektrometrze. W ten sposób szybkość, z jaką listek ten opada, może być uważana za miarę zdolności promieniotwórczej badanego preparatu. ⊗

⊗ Początkowo mniemano, że »zdolność promieniotwórcza« stanowi własność zasadniczą pierwiastka: uranu. Jeżeliby tak było w istocie, wówczas czysty uran musiałby posiadać najsilniejszą promieniotwórczość. Pani Skłodowska-Curie wykryła jednak wśród różnych minerałów promieniotwórczych takie, których promieniotwórczość kilkakrotnie przewyższa promieniotwórczość czystego uranu, jak tego dowodzi poniższa tabelka. ⊗

⊗ TABLICA 48.  
Promieniotwórczość niektórych minerałów  
w dowolnych jednostkach.

Minerał	Promieniotwórczość	Minerał	Promieniotwórczość
Uran metaliczny .	2,3	Karnotyt . . .	6,2
Blenda smolistą: .		Chalkolit . . .	5,2
z Jachimowa . .	7,0	Autunit . . .	2,7
z Georgenstadt .	8,3		
z Przibramu . .	6,5		

⊗ Z badań tych wynikało, że własności promieniotwórcze posiada również, a nawet w znaczniejszej jeszcze mierze *tor*. Najsilniejszą jednak okazała się promieniotwórczość blendy smolistej, której promieniowanie jest tak silne, że minerał ten posiada zdolność »samofotografowania się« w ciemności (rys. 74). ⊗

⊗ P. Skłodowska-Curie zwróciła szczególną uwagę na ten minerał i poddała go szczegółowej analizie, badając otrzymywane osady na ich promieniotwórczość. Analiza tego minerału była bardzo trudna z tego względu, że zawiera on



Rys. 74a.



Rys. 74b.

Blenda smolista z Jachimowa: a) fotografowana w świetle dziennym, b) fotografowana w ciemności w świetle własnych promieni.

oprócz »uranianu uranilowego«,  $U_3O_8$ , będącego głównym składnikiem, domieszki żelaza, ołowiu, magnezu, baru i wielu innych pierwiastków. P. Skłodowska-Curie zastosowała w badaniach swoich metodę systematycznej analizy jakościowej: badając promieniotwórczość otrzymywanych osadów, potrafiła stwierdzić, że promieniotwórczość narasta w znacznym stopniu w dwóch osadach: w osadzie siarkowodorowym, zawierającym bizmut, i w osadzie węglanów ziem alkalicznych, zawierającym przeważnie bar. Na podstawie tych badań nie zawahała się ona przypisać promieniotwórczości tych dwóch osadów dwóm nowym pierwiastkom. Jeden z nich, towarzyszący bizmutowi, nazwała *polonem*, drugi zaś, towarzyszący barowi, nazwała *radem*. Wydzielenie polonu w większych ilościach natrafiło z początku na znaczne trudności, których przyczynę niebawem poznamy. Łatwiejszym do otrzymania okazał się narazie rad. ⊗

⊗ *Wydzielanie radu.* Dzięki szczęśliwemu zbiegowi oko-



liczności p. Curie-Skłodowska znalazła odpowiedni materiał do wydzielenia większych ilości radu w »odpadkach uranowych«, pozostających po przeróbce rudy smolistej na sole uranowe i nagromadzonych w wielkich ilościach w Jachimowie w Czechach. Niegdyś odpadki te przerabiano na srebro. Ale od czasu spadku ceny tego metalu przeróbka odpadków została zaniechana, i kilka wagonów tego »bezużytecznego« materiału znajdowało się na hałdach fabrycznych. Te oto materiały stały się w rękach p. Skłodowskiej-Curie cennym produktem wyjściowym do otrzymywania radu. ☒

☒ Metoda przeróbki była jednak niesłychanie żmudna ze względu na bardzo drobne ilości radu, zawarte w tych »odpadkach«. A więc przede wszystkim traktowano je roztworem sody na gorąco, aby przeprowadzić wapń, bar i rad w węglany, które następnie rozpuszczano w kwasie solnym i strącano kwasem siarkowym w postaci siarczanów. Ten »surowy osad« powtórnie gotowano z sodą i rozpuszczano w kwasie solnym, poczem roztwór traktowano siarkowodorem w celu strącenia żelaza, ołowiu i innych ciężkich metali. Roztwór chlorków steżano następnie zapomocą wyparowywania. Podczas tego procesu krystalizował przeważnie chlorek baru wraz z chlorkiem radu, bardziej rozpuszczalne zaś chlorki wapnia i strontu pozostawały w roztworze. Ponieważ chlorki radu i baru tworzą kryształy mieszane, przeto dalsze wydzielenie radu można było przeprowadzić jedynie na drodze »krystalizacji cząstkowej«. Zawartość radu w rudzie uranowej jest tak nieznaczna, że z 7000 kilogramów w blendy można otrzymać nie więcej, jak *jeden gram* czystej soli radowej. ☒

☒ *C. Ciężar atomowy radu.* Pomimo to p. Skłodowska-Curie wydzieliła dostateczną ilość radu do oznaczenia ciężaru atomowego tego pierwiastka. Oznaczenie to, powtórzone następnie przez Thorpe'a i Hoenigschmidta doprowadziło do wyniku, że ciężar atomowy radu wynosi 225,97. Rzut oka na układ okresowy pierwiastków (por. str. 5) wskazuje, że w istocie w układzie tym znajduje się wolne miejsce dla pierwiastka z podobnym ciężarem atomowym w drugim rzędzie pionowym, w grupie wapniowców, pod barem. W istocie wszystkie własności chemiczne radu, zarówno jak i jego widmo emisyjne wykazują zupełne podobieństwo radu do wapniowców, w szczególności zaś do baru, sole którego są,

jak już wspomnieliśmy, izomorficzne z solami radu. Sole radowe tworzą, podobnie jak sole innych wapniowców, osad nierozpuszczalnego siarczanu z kwasem siarkowym. Nierozpuszczalny w wodzie jest również węglan radu, który — podobnie jak węglany innych wapniowców — łatwo rozpuszcza się w kwasie solnym, wydzielając dwutlenek węgla. W ten sposób można uważać za dowiedzione, że rad jest najcięższym pierwiastkiem z rodziny wapniowców. ☒

☒ Pogląd ten został całkowicie potwierdzony przez otrzymanie i zbadanie *metalicznego radu*. Doświadczenia te zostały wykonane przez p. Marję Curie i Debiernę'a zapomocą elektrolizy chlorku radu. Rad metaliczny rozkłada wprawdzie wodę, podobnie jak wapń i inne wapniowce, i z tego powodu nie daje się otrzymać *bezpośrednio* zapomocą elektrolizy roztworu wodnego. Jeżeli jednak jako katody użyć elektrody rtęciowej, wówczas rad, wydzielając się na katodzie, rozpuszcza się w rtęci, tworząc z nią »amalgamat«, nie rozkładający wody. Po oddestylowaniu rtęci w próżni pozostaje pierwiastek: rad, w postaci białego metalu, posiadającego połysk srebra. Metal ten podobny jest ze względu na swe własności fizyczne i chemiczne do baru i innych wapniowców: utlenia się szybko na powietrzu, jednocześnie zaś łączy się z azotem, tworząc azotek radu, zabarwiony na czarno. Rad topi się w temperaturze 700°. Własności radu i jego związków nie zdradzają w żadnym względzie nic osobliwego, — oprócz jednej tylko własności: zdolności promieniotwórczej. Ta właśnie cecha jest tak znamienna, że zasługuje na szczegółowe omówienie. ☒

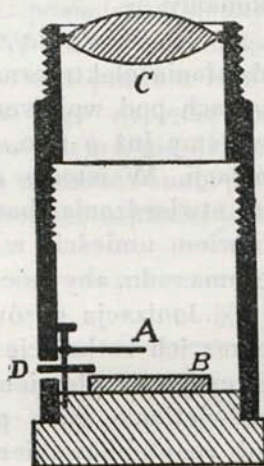
☒ *D. Własności promieniotwórcze preparatów radowych.* Promienie, wysyłane przez rad i przez preparaty radowe, nie są widoczne. Wywołują one jednak nader silną fosforescencję pewnych substancyj i w ten sposób mogą być uwidocznione. Takimi substancjami, fosforyzującymi po wpływie promieni radowych, są platynocjanki wapniowców, w szczególności zaś baru, które fosforyzują również pod wpływem promieni roentgenowskich i są z tego względu stosowane w roentgenoskopji. Jeszcze silniej fosforyzują pewne minerały: mianowicie willemity (krzemian cynku) i blenda cynkowa (siarczek cynku). ☒

☒ Praktycznie stosuje się to zjawisko w »zegarkach samoświecących«, których cyfry i wskazówki są pokryte mieszaniną soli fosforyzującej z nieznaczną ilością preparatu rado-



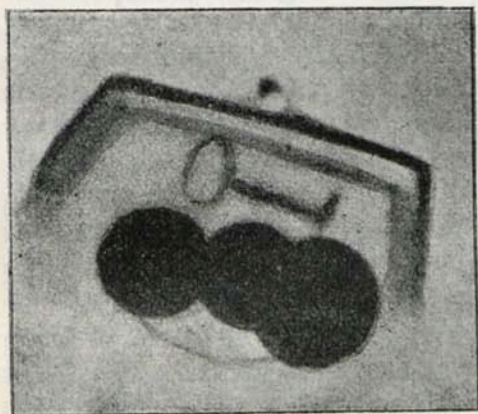
wego. W podobny sposób preparuje się wyłączniki elektryczne i inne przedmioty, które mają być widoczne w ciemności. ☒

☒ Dokładne badanie promieni radowych doprowadziło do wniosku, że światło to nie jest ciągle, lecz składa się z pojedynczych »iskierek«, które można uwidocznic zapomocą przyrządu, podanego przez Crookesa i nazwanego przezeń »spintaryskopem« (rysunek 75). Przyrząd ten składa się z metalowej rurki, na dnie której znajduje się ekran *B*, pokryty fosforyzującym siarczkiem cynku. Górny otwór rurki zamknięty jest przez okular *C*, wewnątrz rurki zaś znajduje się igła *A*, pokryta niesłychanie drobną ilością radowego preparatu (przez zanurzenie w bardzo rozcieńczonym roztworze soli radu). Badając fosforescencję ekranu w tym przyrządzie, zauważymy »świecenie przerywane«, składające się z pojedynczych iskerek, które można liczyć. Ilość ich w jednostce czasu



Rys. 75.

Spintaryskop Crookesa.



Rys. 76.

»Radjogram« portmonetki z zawartemi w niej monetami i kluczykiem.

znajduje się w prostym stosunku do ilości radu na końcu igły *A*. ☒

☒ O tem, że promienie substancyj promieniotwórczych działają na płytę fotograficzną, mówiliśmy już na początku rozdziału. To działanie doprowadziło poraz pierwszy do odkrycia zjawisk promieniotwórczości. Ponieważ promienie radu są bardzo przenikliwe, podobnie jak promienie roentgenowskie, przeto można zapomocą nich

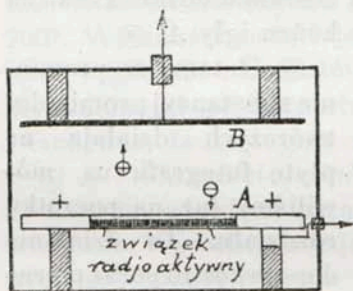
otrzymywać »radjogramy«, prześwietlając przedmioty, zakryte dla oka (np. pieniądze, zawarte w portmonetce rys. 76). Nie

trudno jednak zauważyć, że »radjogramy« te są znacznie mniej ostre od »roentgenogramów«. Wskazuje to na bardziej złożoną naturę promieni radowych, o czym niebawem się przekonamy. ☒

☒ *E. Działania elektryczne.* Niewątpliwie najsilniejszymi są działania elektryczne radu, występujące w powietrzu i innych gazach pod wpływem naświetlania promieniami radowymi. Mówiliśmy już o tem, że powietrze ulega w tych warunkach jonizacji. W istocie elektroskop jest najczulszym przyrządem do stwierdzenia obecności substancyj promieniotwórczych, dość bowiem umieścić w pobliżu czułego elektroskopu  $2 \cdot 10^{-8}$  miligramu radu, aby móc stwierdzić wyładowanie tego przyrządu. ☒

☒ Jonizacja gazów może być wywołana różnemi sposobami: przez ich zetknięcie z żarzącymi się metalami, z łukiem elektrycznym, z płomieniem lub z utleniającym się fosforem, przez naświetlanie gazu promieniami ultrafioletkowymi, katodowymi lub roentgenowskimi, wreszcie przez działanie promieniowania radu. Mechanizm jonizacji gazów jest jednak odmienny od mechanizmu jonizacji roztworów, o której była mowa w tomie I (str. 253). Jonizacja gazów powstaje bowiem w ogólności przez zderzenia cząsteczek gazowych z elektronami. Pod wpływem zderzenia obojętna cząsteczka gazu odszczepia elek-

tron i zamienia się na dodatni jon gazowy. W rzadkich tylko wypadkach pojedyncze jony gazu pozostają wolne (np. w bardzo wysokiej temperaturze lub pod niskim ciśnieniem). W zwykłych warunkach natomiast naładowane jony przyciągają znaczną ilość cząsteczek obojętnych, tworząc wraz z nimi zespoły, zwane »jonami molowemi«. ☒



Rys. 77.

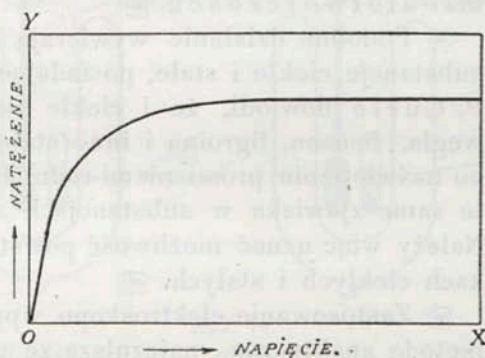
Komora »jonizacyjna«, używana do pomiarów promieniotwórczości według Rutherforda.

tycznie na rys. 77. Substancja promieniotwórcza znajduje się w tym przyrządzie na płytce A, która połączona jest z baterją elektryczną posiadającą napięcie kilkuset volt. Płyta B połączona jest zapomocą czułego galwanometru z ziemią. Powietrze,

☒ Do pomiarów stopnia jonizacji służy t. zw. komora jonizacyjna (str. 238), przedstawiona schematycznie na rys. 77.



zawarte pomiędzy płytkami A i B, ulega jonizacji, wskutek czego pomiędzy płytkami powstaje prąd elektryczny, którego natężenie oznaczamy zapomocą galwanometru. Zależność siły prądu od napięcia, działającego na płytkę A, posiada odmienny charakter, niż w roztworach elektrolitów. W roztworach elektrolitów działa, jak wiadomo, prawo Ohma: siła prądu w zamkniętym obwodzie jest proporcjonalna do jego napięcia na końcówkach. Otóż przytoczone wyżej prawo Ohma nie działa w gazach. Zależność siły prądu od napięcia w jonizowanym powietrzu przedstawiona jest na rys. 78. Dopóki napięcie jest niewielkie, siła prądu wzrasta, i prawo Ohma znajduje zastosowanie. Przy wyższych napięciach jednak krzywa siły prądu A zagina się i osiąga pod napięciem około 300 wolt. maximum, poza którem przebiega już równolegle do osi odciętych. ☒



Rys. 78.

Zależność siły prądu od napięcia w gazie jonizowanym.

☒ W jaki sposób objaśnić sobie możemy to osobliwe zachowanie się zjonizowanych gazów?

Różnica w zachowaniu się roztworów elektrolitów i jonizowanych gazów polega na tem, że ilość jonów w roztworze pozostaje w warunkach doświadczenia bez zmiany, w jonizowanym gazie zaś ilość jonów tylko pod małemi napięciami pozostaje stała (i wówczas prawo Ohma stosuje się), pod większemi napięciami jednak część jonów oddaje swe ładunki elektrodom (A i B) i zanika. Wskutek zmniejszenia ilości jonów siła prądu spada, i prawo proporcjonalności przestaje działać. Jeżeli w układzie istnieje źródło, regenerujące bezustannie jony w gazie, wówczas strata jonów wywołana przez ich wyładowywanie na elektrodach, zostaje w pewnej mierze pokryta, i siła prądu może jeszcze poniekąd wzrastać. Pod pewnem napięciem jednak (około 300 wolt.) szybkość jonów staje się tak znaczna, że wszystkie jony, powstające w jednostce czasu, zostają w tym samym czasie

przyciągnięte przez elektrody i zubożone. Odtąd siła prądu staje się proporcjonalna do szybkości powstawania jonów, a — jeżeli szybkość ta jest stała — siła prądu pozostaje niezmienna. Mówimy wówczas, że prąd jonów jest »nasycony« i ową maksymalną siłę prądu zwiemy »siłą prądu nasycenia«. Jak się przekonaliśmy, siła prądu nasyconego jest wprost proporcjonalna do szybkości powstawania jonów w danym układzie, a ponieważ ta ostatnia jest wprost proporcjonalna do zdolności promieniotwórczej badanego preparatu, przeto możemy stosować siłę prądu nasyconego jako bezpośrednią miarę promieniotwórczości. ☒

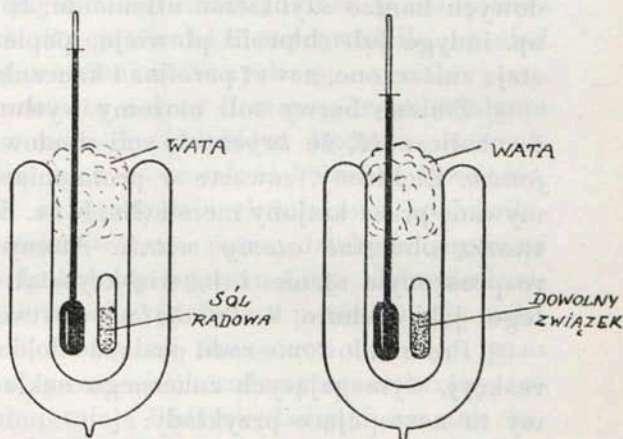
☒ Podobne działanie wywierają preparaty radu na pewne substancje ciekłe i stałe, posiadające małą stałą dielektryczną. P. Curie dowiódł, że i ciekłe nieprzewodniki, np. siarczek węgla, benzen, ligroina i inne stają się przewodnikami prądu po naświetleniu promieniami radu. Białobrzęski stwierdził te same zjawiska w substancjach stałych: siarce i parafinie. Należy więc uznać możliwość powstawania jonów w dielektrykach ciekłych i stałych. ☒

☒ Zastosowanie elektroskopu wprowadziło do chemii nową metodę analityczną, najczulszą ze wszystkich dotąd znanych. Przekonamy się niebawem, że zapomocą tej metody nie tylko stwierdzić możemy tak drobne ilości substancyj promieniotwórczych, jakich nie potrafi wykryć żadna inna metoda analityczna, lecz nawet możemy badać takie substancje, które istnieć mogą niesłyszalnie krótki przeciąg czasu. Jest to jedyna metoda, zapomocą której wykrywać możemy nawet poszczególne atomy. ☒

☒ *F. Działanie cieplne.* Owa tajemnicza zdolność radu do wytwarzania energii przejawia się ze zdumiewającą siłą w wydzielaniu ciepła. Zapomocą prostego urządzenia można się łatwo przekonać, że preparaty radowe nieustannie wytwarzają ciepło (rys. 79). Dwa naczynia próżniowe zawierają dwie zatopione rurki: w lewej rurce znajduje się preparat radowy, w prawej zaś sól baru lub inny niepromieniotwórczy preparat. Termometry, wstawione do obu tych naczyń, wskazują, że temperatura rurki, zawierającej preparat radowy, jest zawsze nieco wyższa, niż temperatura drugiej rurki. Na 0,1 g radu różnica temperatur dochodzi do 1°. Pomiary Piotra Curie i Laborde'a dowiodły, że 1 g czystego radu wydziela w ciągu jednej godziny 118 kal. Jest to niewielka ilość ciepła. Jeżeli jednak zwa-



żymy, że to wytwarzanie ciepła odbywa się w ciągu stuleci z niezmniejszającą się siłą i że preparat radowy w ciągu tego okresu nie wykazuje widocznego wyczerpania, to otrzymamy ilości energii, bynajmniej nie zasługujące na pogardzenie, — ilości energii, które tysiąckrotnie przewyższają te efekty cieplne, jakie zwykły towarzyszyć pospolitym reakcjom chemicznym. Na szczególną uwagę zasługują doświadczenia, wykonane przez Piotra Curie i Dewara w temperaturze ciekłego wodoru (około  $-252^{\circ}\text{C}$ ). Z doświadczeń tych wynika bowiem, że ciepłotwórcza zdolność radu nie tylko nie zanika w tak niskiej temperaturze, lecz nawet nie traci bynajmniej na natężeniu. ☒



Rys. 79.

Doświadczenie Piotra Curie i Laborde'a, mające na celu uwidocznienie wydzielanie ciepła przez rad.

☒ *G. Działania chemiczne.* Że tak potężne źródło energii,

jakiem jest — na podstawie wyżej omówionych zjawisk — rad, może wywoływać rozmaite reakcje chemiczne, nawet takie, które wymagają nakładu pracy na przewyższenie naturalnych powinowactw pierwiastków, — nie powinno wydać się ani dziwnem ani nieoczekiwanem. Wiadomo bowiem z badań fotochemicznych, że wiele reakcyj zawdzięcza swój przebieg również działaniu promieni świetlnych, w szczególności zaś promieni pozafioletowych. ☒

☒ Najbardziej rzuca się w oczy zmiana barwy szkła pod wpływem promieni radowych: szkła sodowe zabarwiają się na kolor fioletowy, szkła potasowe natomiast przybierają barwę brunatną. Jeżeli przerwać naświetlanie, to po dłuższym czasie zabarwienie pierwotne powraca. Przez ogrzewanie zabarwionego szkła można ów proces powrotny znacznie przyspieszyć. Jaka reakcja chemiczna wywołuje tę uderzającą zmianę barwy, — jest to sprawa dotąd jeszcze niewyjaśniona. Co więcej:

znane są podobne zmiany w układach prostszych, których podłoże chemiczne również dotąd nie zostało wykryte. Bezbarwne kryształy soli kamiennej ( $\text{NaCl}$ ) barwią się w obecności preparatów radowych na kolor niebieski lub fioletowy. Bromek potasu barwi się na niebiesko, podobnie jak fluorek wapnia i boraks. Substancje organiczne ulegają pod wpływem promieni radowych bardzo szybkiemu utlenieniu: barwniki organiczne, jak np. indygo lub chlorofil płowieją, papier, jedwab, celulozoid zostają zniszczone, nawet parafina i kauczuk ulegają rozkładowi. ☒

☒ Zmianę barwy soli możemy wytłumaczyć, uwzględniając tę okoliczność, że *kryształy* soli zbudowane są z pojedynczych *jonów*. Elektrony, zawarte w promieniach radu, zostają zatrzymywane przez katjony metali ( $\text{Na}$ ,  $\text{K}$  i t. d.) i, łącząc się z nimi, tworzą obojętne *atomy metali*. Atomy te istnieją w bardzo rozproszonym stanie i barwią kryształ na kolor podobny do tego, jaki cechuje *koloidalne* roztwory tych metali. ☒

☒ Promieniowanie radu posiada zdolność wywoływania wielu reakcyj, wymagających znacznego nakładu energii. Wymienimy tu następujące przykłady:

1) przemiana tlenu na ozon, 2) rozkład wody na wodór i tlen, 3) powstawanie wody utlenionej z wody i tlenu, 4) rozkład dwutlenku węgla na tlenek węgla i tlen oraz tlenku węgla na węgiel i tlen, 5) rozkład amoniaku na azot i wodór, 6) rozkład chlorowodoru i bromowodoru na pierwiastki oraz wiele innych reakcyj. Może wydawać się dziwnem, że promienie radowe potrafią również wywoływać reakcje odwrotne, np. łączenie się wodoru z azotem lub wybuchowe łączenie się chloru z wodorem. Przyczyny tych napozór sprzecznych wpływów należy poszukiwać w ogromnych ilościach energii, jaką niosą z sobą te promienie. W porównaniu z nimi ilości energii chemicznej, pochłaniane lub wydzielane podczas reakcyj, nie posiadają zasadniczego znaczenia. ☒

☒ Gazowe reakcje chemiczne wytłumaczyć się dają przez jonizację gazów, które w stanie jonowym posiadają większy zasób energii i dzięki temu łatwiej wstępują w reakcje chemiczne. W istocie badania ilościowe dowiodły, że ilość cząsteczek substratu, które uległy danej przemianie, równa się lub jest proporcjonalna do ilości jonów, powstałych pod wpływem promieni radowych. Prawo to, podobne do prawa »równoważników elektrochemicznych«, odkrytego przez Faradaya,



zostało potwierdzone przez Lindę w reakcjach powstawania ozonu, syntezy wody, amoniaku i bromowodoru z pierwiastków, oraz w wielu reakcjach rozkładowych. ☒

☒ W ogólności działania chemiczne promieni radowych podobne są do zjawisk fotochemicznych, wywoływanych przez zwykłe promienie świetlne. Dotyczy to również działania tych promieni na płytę fotograficzną, które poraz pierwszy w doświadczeniach Becquerela naprowadziło na ślad istnienia pierwiastków promieniotwórczych. ☒

☒ Wreszcie wspomnieć tu należy o szczególnym działaniu promieni radowych na roztwory koloidów. Badania doświadczalne wpływu promieni tych na trwałość koloidów dowiodły, że koloidy dodatnie, np. wodorotlenek żelazowy, wodorotlenek cerowy i inne zostają strącane przez działanie promieni radowych, podczas kiedy koloidy ujemne, np. złoto, wodorotlenek molibdenu, pięciotlenek wanadu i t. p. nie ulegają zmianie w tych warunkach. Fakty te tłumaczyć się dają przez obecność elektronów w promieniach radowych: elektrony, naśladowane ujemnie, zobojętniają dodatnie ładunki cząstek koloidalnych i w ten sposób przyczyniają się do ich koagulacji. ☒

☒ Do tej samej kategorii zjawisk zaliczyć należy wpływ promieni radowych na koagulację koloidów, rozproszonych w *gazach*, czyli t. zw. »dymów« i »obłoków«. Jeżeli np. naświetlimy promieniami radowymi powietrze, zawierające przesyconą parę wodną, wówczas nastąpi skroplenie pary w postaci widocznego obłoku: każdy *jon* gazu, powstały pod wpływem naświetlenia, stanowi »jądro kondensacyjne«, na którym zbiera się kropelka wody. Na tem oparta jest doskonała metoda liczenia jonów, opracowana przez Townsenda i Wilsona. W następnym rozdziale zapoznamy się ze zdumiewającymi wynikami tej metody w zastosowaniu do badania torów promieni radowych. ☒

☒ *H. Działania fizjologiczne.* Zjawiska, o których tu zamierzamy pomówić, wywoływane są również przez reakcje chemiczne, posiadają jednak szczególny charakter, ze względu na to, że odbywają się w żywej komórce. Wspomnieliśmy już w poprzednim rozdziale, że promienie radu wywierają wpływ niszczący na wszelkie substancje organiczne a więc i na te, które wchodzą w skład komórki. Charakterystyczne jest jednak, że wpływ ten uwydatnia się dopiero po pewnym czasie, zwa-

nym »okresem inkubacyjnym«. Pierwsze doświadczenia w tej dziedzinie posiadały charakter przypadkowy, mimo to jednak dowiodły, że mamy tu do czynienia z działaniem niesłychanie energicznym. ☒

☒ Piotr C u r i e poddał ramię naświetleniu słabym preparatem radowym. Po kilku godzinach dała się zauważyć czerwona plamka na skórze; po kilku dniach zaś na tem samem miejscu powstała rana, która dopiero po kilku miesiącach uległa zagojeniu. Następnie poddano te zjawiska systematycznemu badaniu. Okazało się, że zdrowe tkanki są daleko odporniejsze na działanie promieni radowych, niż tkanki chore. Na tem opiera się metoda leczenia pewnych złośliwych nowotworów, w szczególności raka. Pozatem otrzymano dodatnie wyniki w leczeniu reumatyzmu i artretyzmu. Dalsze badania dowiodły, że wiele naturalnych wód i źródeł mineralnych zawiera drobne ilości pewnych gazów promieniotwórczych (»emanacji«). Na podstawie tych badań medycyna współczesna skłania się do przypisywania działania leczniczego tych wód zawartości w nich substancyj promieniotwórczych. W ogólności zauważyć się daje, że nieznaczne ilości promieni wywołują początkowo tylko pobudzenie czynności fizjologicznych pewnych organów, podczas kiedy większe dawki niszczą je. Dotyczy to w szczególności silnym stopniu komórek rozrodczych oraz elementów nerwów. ☒

☒ Rośliny zdają się być mniej wrażliwe na działanie promieni radowych: pod wpływem słabego naświetlenia rozwijają się one bowiem znacznie lepiej. Większe dawki wywołują jednak działanie szkodliwe. Bakterje chorobotwórcze, np. streptokoki, bakterje tyfusu, cholery i gruźlicy ulegają również zatruciu przez silne dawki promieni radowych. ☒

## 2. RODZAJE PROMIENIOWANIA.

A. *Rozszczepienie promieni radu.* Wspomnieliśmy już na str. 243, że promieniowanie pierwiastków promieniotwórczych jest naogół złożone. Promienie te można doskonale rozszczepić na trzy zasadnicze rodzaje, stosując silne pola elektryczne lub magnetyczne. Wywierają one działanie tylko na te elementy, które posiadają ładunki elektryczne, związane z cząstkami materji. Owe wiązki nabojuw elektrycznych, prze-