stałej tej można wyciągnąć bardzo ważne inne stałe, powołując się tylko na stałe doskonale znane, mianowicie na stałą elektrolityczną Faradaya, na stałą zanikania emanacyi i na stałą objętości jednego atomu gramowego gazu. Otrzymane liczby są następujące:

a) 0,595 mm^3 jako objętość przy 15° jednego curie emanacyi.

b) 157 mm^2 jako objętość w 15° helu wydzielowego przez 1 gr. radu w równowadze z emanacyą i Ra A, B, C, w ciągu jednego roku.

c) 1850 lat, jako czas, po którego upływie dana ilość radu zmniejsza się o połowę.

2. Kolumna 6 i 12-ta zawierają stosunek ładunku promieni β do ładunku promieni α. Średnia wartość otrzymanych liczb wynosi 0,63, co znaczy, że obok trzech cząsteczek α cylinder Faradaya przyjmuje 3,8 cząsteczki β. Tymczasem specyalne doświadczenia wykazały, że część tych cząsteczek β trzeba przypisać rtęci, która odbija do góry niektóre cząsteczki β z początku zwrócone ku dołowi. Z drugiej strony, wiązki o prędkości mniejszej aniżeli 0,50, nie wychodzą wcale z bańki szklanej. Na zasadzie tych faktów ostatecznym wnioskiem naszym jest, że obok trzech cząsteczek β, emanacya w równowadze z Ra A B C wydziela conajmniej trzy, a może cztery cząsteczki β.

Doświadczenia w celu wyznaczenia ładunku elektrycznego poszczególnych wiązek są w pełnym toku.

Rezultat ten prowadzi do ciekawej uwagi. Promienie α, wydzielane przez bańkę szklaną, należą, jak wiadomo, do RaA, C i emanacyi; promienie β do RaB i C. Otóż z licznych prac różnych fizyków wypada, że atom promieniotwórczy wydziela tylko jednę cząsteczkę α. Rezultat ten znaczy więc, że atom promieniotwórczy może wydzielać jednę albo najwyżej dwie cząsteczki β. Otóż praca niniejsza wykazała, że RaB i C wysyłają co najmniej 27 wiązek promieni β o różnych prędkościach; podług Hahna, Baeyera i Meitnerówny, np radowi C należy przypisać 13 conajmniej wiązek. Wynika stąd, że atomy radu C nie są wszystkie jednakowe, i że, przy zamianie promieniotwórczej na rad D tracą ilości energii bardzo różne (patrz Tablice I i II). Możemy więc stąd wywnioskować, że energie wewnętrzne atomów składających dany pierwiastek promieniotwórczy, są różne i—najprawdopodobniej — że to samo się dzieje z pierwiastkiem stałym (ołowiem), który stanowi kres ostateczny rozwoju promieniotwórczego grupy radu. Wniosek ten zmienia więc pojęcie dotychczasowe o pierwiastku chemicznym, jako składającym się z jednakowych atomów.

Doświadczenia w celu wyznaczenia ładunku elektrycznego poszczególnych wiązek są w pełnym toku.

Na zakończenie miłym dla mnie jest obowiązkiem wyrazić pani Curie wdzięczność za rady i wskazówki, których mi zawsze w pracy mojej udzielała oraz za okazywaną mi życzliwość.

LUDWIK WERTENSTEIN.

O ODSKOKU PROMIENIOTWÓRCZYM.[1]

Sur le recul radioactif.

I. O zjawiskach odskoku wogóle.

„Odskok“ promieniotwórczy jest zjawiskiem, ściśle związanem z wysyłaniem promieni α. Źródłem promieniowania α jest przemiana atomowa, przy której atom rozpada się na dwie nierówne części: atom helu i atom nowej substancyi w przemianie zrodzonej, najczęściej również promieniotwórczej. W chwili oddzielenia, oba te atomy wyrzucane zostają z wielką prędkością w przeciwne strony. Środek bezwładności układu pozostaje przytem w spoczynku; odpowiednie momenty są więc sobie równe i wprost przeciwne. Wyrzucanie atomów helu jest promieniowaniem α, jednoczesne zaś wyrzucanie ciężkich atomów stanowi zjawisko promieniotwórczego odskoku.

Z powyższego wydawaćby się mogło, że odskok jest zjawiskiem, doświadczalnie tak samo wybitnem jak promieniowanie α. Tak jednak nie jest. Promieniowanie jest ze zjawisk promieniotwórczych zjawiskiem może najważniejszem, któremu zawdzięczamy wykrycie większości ciał promieniotwórczych; podczas gdy odskok, jakkolwiek zawsze towarzyszy promieniom α, może być obserwowany tylko przy zachowaniu specyalnych warunków doświadczal-

[1]) Zjawiska, o których mowa w tej pracy, posiadają w obcych językach specyalną nazwę (recul, radioactif, radioactive recoil, radioaktiver Rückstoss). O ile mi wiadomo, odpowiedni termin w literaturze naukowej polskiej nie istnieje. Wobec tego proponuję przyjęcie terminu „odskok“, który wydaje mi się najwierniejszem tłómaczeniem odpowiednich słów cudzoziemskich.

nych. Przyczyna tego jest następująca. Ciężar atomowy wszystkich pierwiastków promieniotwórczych przewyższa 200, a więc masa atomu „odskakującego“ jest przeszło 50 razy większa od masy atomu helu. Wynika stąd, że przy równości momentów, prędkość atomu odskakującego wynosi zaledwie $\frac{1}{50}$ część prędkości cząsteczki α. Tak samo i energie kinetyczne obu pocisków stoją w stosunku 1 : 50. W samej rzeczy, niech m_α i v_α oznaczają masę i prędkość cząsteczki α, zaś, m_r i v_r masę i prędkość odskakującego atomu; wtedy mieć będziemy:

$$m_\alpha v_\alpha = m_r v_r ,$$

$$\tfrac{1}{2} m_\alpha v_\alpha^2 = \tfrac{1}{2} (m_\alpha v_\alpha)^2 \cdot \frac{1}{m_\alpha} = \tfrac{1}{2} (m_r v_r)^2 \frac{1}{m_\alpha} = \tfrac{1}{2} m_r v_r^2 \cdot \frac{m_r}{m_\alpha}$$

a więc

$$\frac{\frac{1}{2} m_\alpha v_\alpha^2}{\frac{1}{2} m_r m_r^2} = \frac{m_r}{m_\alpha} = 50 \text{ (mniej więcej)} .$$

Rozumowanie to okazuje, że działania energetyczne odskoku muszą być bardzo małe w porównaniu do działań promieni α. Przy tem atomy odskoku przebiegają w powietrzu, pod ciśnieniem zwykłem, drogę niezmiernie krótką (około 0.1 mm.), podczas gdy promienie α przebiedz mogą, w tych samych warunkach, kilka centymetrów. Jasną więc jest rzeczą, że obserwacya odskoku jest trudniejsza, niż obserwacya promieni α.

Dla obserwacyi odskoku użyć należy substancyi promieniotwórczej, która przeobraża się przez stratę cząsteczek α. Substancya taka, o ile jest stała lub płynna, powinna znajdować się w stanie bardzo cienkiej, niewidzialnej warstwy złożonej na powierzchni jakiegokolwiek stałego ciała, np. na płytce metalowej. Płytkę taką nazwiemy dla skrócenia „aktywną“. Od aktywnej płytki odskakują atomy substancyi, w którą przeobraża się użyta substancya; oddalają się jednak od płytki jedynie na $\frac{1}{10}$ milimetra, jeżeli doświadczenie odbywa się w powietrzu. Jeżeli umieścimy naprzeciw płytki aktywnej inną płytkę na odległości mniejszej od $\frac{1}{10}$ mm., to płytka taka zbierać będzie wyrzucane atomy. W największej liczbie przypadków atomy odskoku są z kolei promieniotwórcze. Istnienie ich na płytce zbierającej wykryć będzie można wtedy dzięki temu, że płytka taka stanie się promieniotwórczą. Metody, będące w użyciu w nauce o promieniotwórczości, pozwolą wtedy określić ilość i naturę wyrzucanej substancyi.

Jeżeli płytka zbierająca jest oddalona od płytki aktywnej o więcej niż $\frac{1}{10}$ mm., to atomy odskoku, po zatrzymaniu się w powietrzu, zachowywać się będą jak atomy pary metalicznej, największa ich część dyfundować będzie napowrót ku płytce aktywnej. Aby i w tym przypadku uwidocznić oddzielanie się atomów odskoku, należy między obiema płytkami ustanowić silne pole elektryczne, w ten sposób, aby płytka zbierająca naładowana była ujemnie.

Atomy bowiem odskoku naładowane są dodatnio, jak to pierwszy okazał Hahn, a więc pociągnięte zostaną ku płytce zbierającej.

Drugi sposób obserwacyi zjawisk odskoku polega na tem, że obie płytki umieszcza się w naczyniu szczelnie zamkniętem, w którem wytwarza się próżnię bardzo daleko posuniętą (Makower i Russ), lub częściową (Wertenstein). Droga, którą przebiegają atomy odskoku, wzrasta w tym samym stosunku, w jakim zmniejsza się ciśnienie. Przy ciśnieniu 1 mm. rtęci atomy odskoku przebiegają około 10 cm., więc bez użycia pola elektrycznego z łatwością dosięgają płytki zbierającej.

Wreszcie trzeci sposób obserwacyi zjawisk odskoku jest pośredni. Polega on na uwidocznieniu różnych zjawisk, jakie atomy odskakujące na skutek energii swej powodują. Autor badał np. jonizacyę gazów przez atomy odskoku. Podobnie możnaby badać ciepło, wyzwolone przy traceniu przez atomy odskoku ich energii kinetycznej. Doświadczenia takie muszą również odbyć się w silnie rozrzedzonych gazach, i w takich warunkach, w których działanie promieni α, β i γ jest względnie małe.

Wyliczmy teraz substancye promieniotwórcze, których używano dla obserwacyi zjawisk odskoku.

Atomy emanacyi radu przetwarzają się w atomy radu A, przez utratę cząsteczek α. Atomy radu A odskakują więc od miejsca, gdzie powstały. Odskok radu A wykryty został przez Russa i Makowera[1]. Badacze ci kondensowali emanacyę radu na wewnętrznych ściankach rurki szklanej, przez zanurzenie jej w płynnem powietrzu. Miejsca, gdzie emanacya się skropliła, stają się źródłem promieniowania odskoku, jak to łatwo sprawdzić, umieszczając w rurce w odpowiednich warunkach płytkę zbierającą.

RaA przeobraża się w RaB, podobnie jak emanacya w RaA. Aby otrzymać RaA na płytce metalowej w stanie dość czystym, wystarcza płytkę taką pozostawić przez czas krótki (od kiku sekund do kilku minut) w naczyniu, zawierającem emanacyę radu. Jest przytem rzeczą bardzo pożyteczną, aby podczas aktywacyi między płytką a ścianami naczynia działało silne pole elektryczne, skierowane ku płytce (t. j. aby płytka naładowana była ujemnie). Większość bowiem atomów RaA, powstających z emanacyi w naczyniu, posiada ładunek dodatni, pociągnięta więc zostanie ku płytce. Po wyjęciu z emanacyi, płytka wyrzucać będzie atomy RaB, tak długo jak RaA żyć na niej będzie.

Jeżeli na płytce aktywnej mamy RaC, to substancyą wyrzucaną będzie RaD, a także w małej bardzo ilości RaC_2. RaC otrzymujemy na płytce w znacznej ilości, aktywując ją w emanacyi radu przez czas dłuższy (kilka go-

[1]) Phys. Zeitschrift., 1909, t. 10, str. 361.

dzin). Po wyjęciu z emanacyi płytka ta jest pokryta RaA, RaB i RaC; RaA znika mniej więcej w pół godziny po wyjęciu. Powstaje więc mieszanina RaB i RaC, ale z ciał tych tylko RaC może powodować odskok, przemiana bowiem RaA na RaC odbywa się bez wysyłania promieni α. [1])

Polon czyli RaF przemienia się na atomy substancyi, której nie udało się dotychczas zidentyfikować. Teorya Rutherforda każe przypuszczać, że są to atomy ołowiu. Istnienia odskoku w przypadku, gdy na płytce złożony jest polon, trudno jest dowieść, gdyż polon otrzymuje się przez reakcye elektrochemiczne z roztworów, które zawierają najczęściej liczne przymieszki obcych pierwiastków, jak bizmutu, rtęci, i t. d. Substancye te osiadają na płytce razem z polonem i trworzą warstwę stosunkowo grubą, przez którą nie mogą przedostać się atomy odskoku. Wszelako Bianu i autorowi [2]) udało się otrzymać polon w stanie warstwy niewidzialnej i stwierdzić istnienie odskoku przez jonizacyę, którą wywołują odskakujące atomy.

W innych rodzinach promieniotwórczych zjawiska odskoku mało były dotychczas badane. Wyliczmy wyrzucanie AcX przez aktyn, AcD przez AcC, ThD przez ThC.

Zjawiska odskoku rozpatrywać można z dwóch różnych punktów widzenia. Przedewszystkiem chodzić tu może o naturę wyrzucanej substancyi. Należy zauważyć, że na skutek szybkich przemian substancyj promieniotwórczych jednych na drugie, trudno jest otrzymywać je w stanie czystym. Osadzanie atomów odskoku na płytce zbierającej jest jednym z niewielu sposobów, jakimi w tym celu rozporządzamy. Sposobu tego używa się często w nauce o promieniotwórczości, gdy chodzi o zbadanie własności jakiejś określonej substancyi; co więcej, zawdzięczamy metodzie tej wykrycie kilku nowych substancyj promieniotwórczych: ThD, RaC_2 (Hahn). Badając odskok RaC_2, Fajans doszedł do nadzwyczaj ciekawego wniosku, że pewna niewielka liczba atomów RaC przemienia się na RaC_2, substancyę żyjącą tylko kilka minut, podczas gdy przeważna większość tych atomów przekształca się na RaD, który żyje lat kilkadziesiąt. Jestto pierwszy przykład t. zw. rozszczepienia w przemianach promieniotwórczych.

Z drugiej strony, można uważać wyrzucanie atomów odskoku za prawdziwe promieniowanie materyalne, badać rozchodzenie się tych promieni

[1]) RaC powstaje z RaB przez utratę cząsteczki β, t. j. elektronu. Jest rzeczą możliwą, że RaC przy przemianie tej zostaje wyrzucany, zresztą z prędkością kilkaset razy mniejszą niż te, z któremi mamy do czynienia w zjawiskach odskoku. Kilku autorów próbowało wykryć „odskok β“ (Russ i Makower); zdaniem mojem jednak, rezultaty otrzymane w tym względzie nie są przekonywające. Dlatego też uważam na razie za stosowne o „odskoku β“ nie mówić.

[2]) Le Radium, 1912, t. 9.

w różnych gazach pod różnemi ciśnieniami, zachowanie się ich w polu magnetycznem i elektrycznem, oraz różne zjawiska, które towarzyszą ich absorbcyi: jonizacyę, wyzwalanie się ciepła i t. d.

Russ i Makower [1]) pierwsi okazali, że w próżni atomy odskoku znaczne przebiegają odległości.

Autor [2]) okazał, że droga, jaką przebiegają odskakujące atomy RaB w powietrzu i w wodorze, jest, dla każdego z tych gazów, odwrotnie proporcyonalna do ciśnienia. Droga ta wynosi w powietrzu, przy ciśnieniu atmosferycznem, około 0·1 mm., i jest 530 razy mniejsza niż droga, jaką w tych samych warunkach przebiegają cząsteczki α RaA. Energia atomów odskoku jest tylko 50 razy mniejsza, niż energia cząsteczek α; widzimy więc, że atomy odskoku tracą swą energię o wiele szybciej niż cząsteczki α. Wyprowadzić stąd można wniosek, że działania energetyczne odskoku powinny być stosunkowo o wiele silniejsze, niż działania cząsteczek α. Zobaczymy dalej, że tak jest istotnie.

Russ i Makower [3]) przekonali się, że promienie odskoku w próżni odchylone być mogą przez pole elektryczne i magnetyczne. Kierunek odchylenia wskazuje, że wyrzucane atomy unoszą ładunek dodatni. Pomiary odchylenia pozwoliły tym autorom stwierdzić, że prędkość atomów RaB, wyrzucanych przy przemianie RaA, wynosi około 3.10^7 cm./sec.; stosunek zaś masy atomu RaB do masy atomu wodoru zbliżony jest do 194. Według teoryi przemian promieniotwórczych, ciężar atomowy RaB wynosi 214.

Autor [4]) stwierdził, że atomy odskoku jonizować mogą gazy. Badane było wyrzucanie atomów RaD, towarzyszące przemianie RaC. Jonizacya, którą wytwarzają atomy te na swej drodze, jest bardzo znaczna na początku drogi i zmniejsza się dość szybko, w miarę jak oddalają się od płytki aktywnej. Aby dać pojęcie o intesywności jonizacyi przez odskok, przytoczę następujący przykład. Pod ciśnieniem 3 mm. rtęci, atomy RaD tworzą na odległości 6 mm. od płytki aktywnej 5 razy więcej jonów, niż cząsteczki α RaC. Pod ciśnieniem tem całkowita droga atomów RaD wynosi około 40 mm.

II. O absorbcyi odskoku w gazach.

W poniższym szkicu pragnąłbym opisać doświadczenia, jakie wykonałem ostatnio w pracowni pani Skłodowskiej-Curie w Paryżu, dla zba-

[1]) Phys. Zeitschr. 1909, t. **10**, str. 361.
[2]) Le Radium, 1910, t. **7**, str. 288.
[3]) Phil. Magazine, 1910, 1910, t. **20**, str. 875 i 882.
[4]) Le Radium, 1912, t. **9**, str. 6.

dania absorbcyi odskoku w gazach, w związku z wywołaną przez nie jonizacyą Celem badania było wykrycie analogij i różnic w zachowaniu się atomów odskoku i promieni α. Mechanizm absorbcyi promieni α jest dzisiaj dość dobrze znany, dzięki pracom Bragga i Geigera[1].

Uważmy wiązkę promieni α mniej więcej równoległą, jaką otrzymać można, ustawiając na drodze promieni odpowiedniego kształtu diafragmy. Składające wiązkę atomy helu stopniowo zwalniane będą w swym biegu przez uderzenia z cząsteczkami powietrza, aż zostaną rozproszone i zatrzymane. Rozproszenie wynika stąd, że po każdem uderzeniu cząsteczka α odchyla się nieco od pierwszego kierunku; odchylenia, wynikające ze spotkań kolejnych, sumują się; że zaś kierunek ich jest zupełnie dowolny, sprawiają one, że

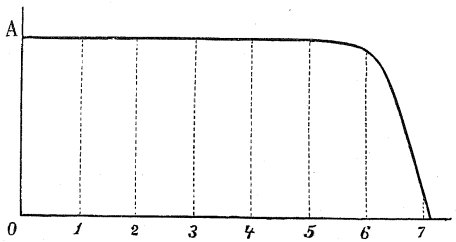

Fig. 1.

stopniowo cząsteczki α zatracają wszelki ślad jakiegoś jednego zbiorowego kierunku; prędkość przytem zmniejsza się ustawicznie, aż stanie się tego samego rzędu jak prędkość atomów helu w temperaturze doświadczenia. Mówimy wtedy, że cząsteczki α zostały zatrzymane, t. j. zachowują się jak atomy gazu w spoczynku.

Przetnijmy wiązkę płaszczyzną do niej prostopadłą. Liczba cząsteczek α, która przechodzi w jednostce czasu przez płaszczyznę, będzie na początku drogi niezależna od odległości przecięcia od płytki aktywnej; gdy jednak rozproszenie znaczne poczyni postępy, coraz większa liczba cząsteczek α zawrócona zostanie, liczba ich zatem, która przebiega przez płaszczyznę w kierunku wiązki, zmniejszać się zacznie, w miarę jak odległość nadal wzrastać będzie. Aby badać w ten sposób absorbcyę cząsteczek α, Geiger ustawiał na drodze promieni ekran pokryty siarczkiem cynku i mierzył ilość scyntylacyj, jakie powodowały cząsteczki α, uderzając o ekran, w funkcyi odległości ekranu od płytki aktywnej. Rezultaty, otrzymane przez Geigera, przedstawione są graficznie na krzywej rys. 1, gdzie rzędne oznaczają liczbę cząsteczek α padających na ekran, zaś odcięte — odległość ekranu od płytki aktywnej. Widzimy, że liczba cząsteczek składających wiązkę utrzymuje się bez zmiany na całej prawie długości ich drogi, dopiero u samego końca liczba ta zmniejsza się gwałtownie. Wnosimy stąd, że cząsteczki α naogół skutecznie opierają się rozproszeniu; odchylenia przez spotkanie z cząsteczkami powietrza stają się znaczne dopiero wtedy, gdy prędkość cząsteczek α opada poniżej pewnej określonej wartości.

[1]) Le Radium, 1910, tom 7, str. 136.

Metoda, której użyłem dla zbadania absorbcyi odskoku, jest w zasadzie podobna do metody Geigera. Polega ona na tem, że na drodze równoległej wiązki odskakujących atomów ustawia się płytkę zbierającą, którą nazywać będziemy dla skrócenia receptorem. Promieniotwórczość, jakiej nabywa receptor, gdy w określonych warunkach na drodze wiązki jest postawiony, służy wtedy za miarę liczby padających nań atomów. Metoda ta badania odskoku może być stosowana tylko wówczas, kiedy promieniotwórczość receptora pochodzi wyłącznie od atomów odskoku, padających nań z wielką prędkością. Należy więc wykluczyć wszelką aktywacyę receptora, spowodowaną przez jakiekolwiek bądź inne działanie.

Przedewszystkiem chodzić tu musi o usunięcie od receptora atomów, zatrzymanych w gazie wskutek absorbcyi, które mogłyby przez dyfuzyę dostać się na receptor. Trudność tę usunąć można prawie zupełnie, ładując receptor do potencyału dodatniego, płytkę zaś aktywną do ujemnego.

W samej rzeczy, ogromna większość zatrzymanych atomów posiada ładunek dodatni; te więc atomy zostaną odpędzone od receptora. Atomów nienaładowanych lub naładowanych ujemnie jest bardzo mało; część ich dosięga naturalnie receptora. Wprowadza to do rozważania rezultatów pewną poprawkę, o której mowa będzie niżej.

Inne jeszcze przyczyny mogą sprawić, że na receptor dostaną się atomy promieniotwórcze, nie należące do uważanej wiązki promieni odskoku. Przyczyny te opisane są szczegółowo gdzieindziej[1]; tu wystarczy powiedzieć, że możliwe jest urzeczywistnienie warunków doświadczalnych, w których przyczyny takie nie działają.

Jako źródła promieniowania używałem krążka metalowego, pokrytego RaA, substancyą wyrzucaną był RaB. Załóżmy, że przy pomocy odpowiedniej diafragmy wytworzyliśmy wiązkę odskakujących od krążka atomów, rozchodzących się w badanym gazie pod ciśnieniem p.

Niech będzie A_0 ilość radu A, znajdująca się na krążku aktywnym w chwili, od której zaczynamy liczyć czas. W chwili t (sekund) zostanie na tymże krążku ilość $A_0 e^{-\Lambda_A t}$, gdzie Λ_A jest stałą, charakteryzującą rozpad promieniotwórczy radu A.

[1]) L. Wertenstein, Thèse de doctorat, Paryż, 1913, str. 54 i nast.

W chwili t_1 ustawmy na drodze wiązki, na odległości l_1 od krążka aktywnego, płytkę zbierającą, którą nazwiemy „receptorem 1". Niech będzie N_{l_1} liczba atomów RaB, która padałaby na „receptor 1" w ciągu sekundy, gdyby doświadczenie odbywało się w tych samych warunkach, w chwili 0. W chwili t_1 receptor odbierać będzie tylko $N_{l_1} e^{-\Lambda_A t_1}$ atomów RaB na sekundę. W samej rzeczy, liczba atomów RaB, odskakujących w ciągu sekundy, jest proporcyonalna w każdej chwili do ilości RaA, znajdującego się na krążku. Zostawmy receptor w tem samem położeniu przez θ sekund; całkowita liczba atomów RaB, jaka osiądzie na nim, będzie:

$$N_{l_1} \int_{t_1}^{t_1+\theta} e^{-\Lambda_A t}\, dt = \frac{N_{l_1}}{\lambda}\left(e^{-\lambda_A t_1} - e^{-\Lambda_A (t_1+\theta)}\right) = e^{-\Lambda_A t_1} N_{l_1}\left(\frac{1-e^{-\Lambda_A \theta}}{\lambda_A}\right).$$

W podobny sposób umieśćmy inną płytkę zbierającą „receptor 2", na odległości l_2 od krążka aktywnego, przez czas od t_2 do $t_2+\theta$, receptor 3 na odległości l_3 przez czas od t_3 do $t_3+\theta$, i t. d.

Liczby atomów, zebrane przez te receptory, będą

$$e^{-\lambda_A} N_{l_2}\left(\frac{1-e^{-\Lambda_A \theta}}{\lambda_A}\right),$$

$$e^{-\Lambda_A} N_{l_3}\left(\frac{1-e^{-\Lambda_A \theta}}{\lambda_A}\right) \quad \text{i t. d.}$$

Zauważmy, że wyraz w nawiasie jest jednakowy dla wszystkich receptorów.

Jeżeli więc I_1, I_2, I_3 są „aktywności" receptorów 1, 2, 3 i t. d., to mieć będziemy:

$$I_1 = k N_{l_1} e^{-\Lambda_A t_1}, \quad I_2 = k N_{l_2} e^{-\Lambda_A t_2}, \quad I_3 = k N_{l_3} e^{-\Lambda_A t_3} \quad \text{i t. d.}$$

W równaniach tych $I_1, I_2, I_3, \ldots, t_1, t_2, t_3$ są wielkościami danemi doświadczalnie. Rugując więc z równań stałą k, znajdziemy wartość stosunków

$$\frac{N_{l_2}}{N_{l_1}}, \quad \frac{N_{l_3}}{N_{l_1}}, \ldots,$$

czyli — inaczej mówiąc — względną liczbę atomów RaB, przebiegających w uważanej wiązce odległości większe niż $l_1, l_2, l_3, \ldots$.

Jasną jest rzeczą, że doświadczenie takie pozwoli wyznaczyć kilka punktów krzywej absorbcyi badanego promieniowania. Punkty te otrzymamy, obierając wyżej napisane stosunki za rzędne, odpowiednie zaś odległości za odcięte.

Wszelako całkowitej krzywej absorbcyi nie można otrzymać z jednego doświadczenia, albowiem RaA znika bardzo szybko; połowa tej substancyi

znika w czasie 3 minut. Należy więc wykonać szereg doświadczeń z krążkami aktywowanemi dla każdego doświadczenia przez emanacyę radu.

Zanim przejdę do wyłożenia otrzymanych rezultatów, pragnąłbym opisać same doświadczenia, oraz użyte w tej pracy aparaty.

Dla aktywowania krążków, służących za źródło odskoku, wstawia się je do naczynia, zawierającego emanacyę radu. W naczyniu tem krążek przebywa przez czas bardzo krótki (od 1 — 2 minut). Podczas aktywowania, krążek

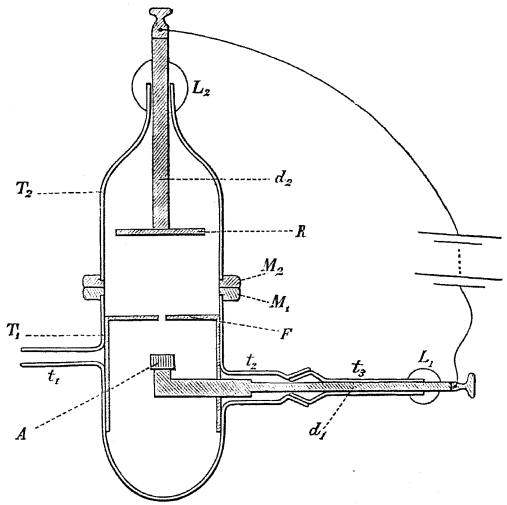

Fig. 2.

naładowany jest do ujemnego potencyału 800 woltów, podczas gdy ścianki metalowe naczynia połączone są z ziemią. W ten sposób ściąga się na krążek znaczną ilość RaA, wytworzonego w naczyniu podczas aktywowania. Przez dłuższe aktywowanie otrzymuje się naturalnie więcej RaA, ale rozpad RaA wytwarza wówczas na krążku znaczne ilości RaB i RaC, co — jak skonstatowałem — przeszkadza obserwacyi zjawisk odskoku. Ze strony, na której RaA się osadza, krążek jest pokryty blaszką platynową. Powierzchnia tej blaszki musi być starannie przed aktywowaniem oczyszczona. Czystość badanej powierzchni jest rzeczą pierwszorzędnej wagi, atomy bowiem odskoku są bardzo mało przenikliwe i mogą być zatrzymane całkowicie przez warstwę nieczystości grubości $\frac{1}{10}$ μ, t. j. 10^{-5} cm. Po skończonem aktywowaniu, należy krążek ogrzewać przez kilka sekund w płomieniu palnika Bun-

sena, aby wypędzić z niego ślady emanacyi, którą mógłby podczas aktywowania absorbować; poczem przenosi się krążek do pokoju, w którym znajduje się aparat do badania odskoku. Zaznaczam tu mimochodem, że w laboratoryach promieniotwórczości należy koniecznie wykonywać aktywowanie w osobnych pokojach, zwanych „aktywnymi", gdzie niema czułych aparatów elektrycznych.

Aparat do badania odskoku przedstawiony jest na rys. 2. Składa się on z dwóch rur szklanych 50 mm średnicy, zamkniętych u jednego końca, które połączyć można w jedno szczelnie zamknięte naczynie zapomocą szlifowanych płaskich metalowych pierścieni M_1 i M_2. Dolna część T_1 jest nieruchoma; przez rurkę t łączy się ona z kapslową pompą Gaedego i z manometrem Mac-Leoda, ewentualnie ze zbiornikiem badanego gazu. Do rury M_1 dolutowana jest pod prostym kątem rurka t_2, w której obracać się może za pomocą szlifowanego stożkowego połączenia rurka t_3. Przez tę przechodzi drążek d_1, przylakowany do niej w L_1; drążek ten dochodzi aż do osi rury T_1, nosi on krok śruby, na którym umocowywa się krążek aktywny. Dzięki szlifowanemu połączeniu, możemy obracać krążek koło osi poziomej; aparat pozostaje przytem szczelnie zamknięty. Po umocowaniu krążka aktywnego ustawia się jeszcze w dolnej rurze diafragmę F, króra służy do odgraniczenia wiązki wyrzucanych atomów. Dla określenia geometrycznego wiązki dodam, że użyta do doświadczenia część krążka ma 9 mm. średnicy, otwór diafragmy ma 7 mm. średnicy; znajduje się on na odległości 17 mm. od aktywnego krążka. W ten sposób przez diafragmę wychodzi około $\frac{\frac{\pi}{4} \cdot 7^2}{4\pi \cdot 17^2} = \frac{1}{94}$ całkowitej liczby odskakujących atomów.

Ruchoma część T_2 aparatu, którą nakłada się na pierwszą, zwęża się ku górze w wązką rurkę, przez którą przechodzi drążek d_2, przymocowany lakiem i cementem w L_2. Na drążku tym przymocowywać można receptory R na różnych odległościach od diafragmy. Drążek d_1 łączymy z biegunem ujemnym, drążek d_2 z biegunem dodatnim bateryi małych akumulatorów (około 30 woltów).

Po nałożeniu na rurę t_1 rury t_2 z receptorem, puszcza się w ruch pompę Gaedego. Przez ten czas krążek aktywny powinien być zwrócony aktywną stroną ku dołowi. Gdy ciśnienie w aparacie spadnie do pewnej określonej wartości, jaką właśnie mieć chcemy, odłączamy aparat od pompy. Wtedy, obracając rurkę t_3 o 180°, odwracamy ku górze krążek aktywny; a więc skierowywamy na receptor wiązkę wyrzucanych atomów RaB. W położeniu tem pozostaje krążek przez 1 min. 30 sek. Po upływie tego czasu, odwracamy go znowu ku dołowi. Taki jest koniec pierwszej ekspozycyi. Wpuszczamy powietrze do naczynia. Wyjmujemy receptor; wkładamy na jego miejsce inny, umo-

cowując go na innej lub tej samej odległości od krążka aktywnego. Zamykamy aparat i powtarzamy opisane wyżej czynności. Jeżeli pracuje się bardzo szybko, można robić kolejne ekspozycye, jednę po drugiej, w odstępach od $3\frac{1}{2}$ minuty do 4. Po sześciu takich ekspozycyach zostaje zaledwie $\frac{1}{200}$ ilości RaA, tak że następne receptory nie zbierają już nic prawie. Jeżeli zamiast w powietrzu chcemy badać odskok w innym gazie, należy, przed każdą ekspozycyą, po kilka razy opróżniać aparat i napełniać go czystym gazem ze zbiornika. Czynności te zajmują trochę więcej czasu, między jedną ekspozycyą a drugą upłynąć musi najmniej 5 minut. Pompa kapslowa Gaedego jest znakomitym przy-

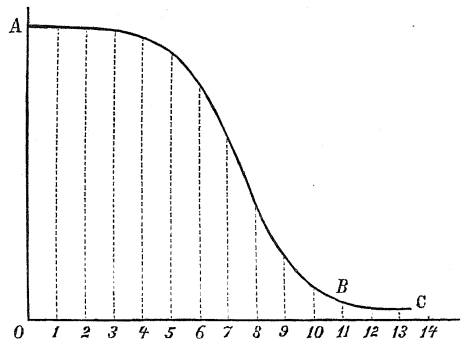

Fig. 3.

rządem w podobnych doświadczeniach; działa nadzwyczaj szybko i regularnie. Aparat mój mieścił 300 cm³, po 25 sek. osiągałem w nim ciśnienie 2 mm. rtęci, po 40 sek. ciśnienie 1 mm.

Po ukończeniu wszystkich ekspozycyj przystępuje się do mierzenia promieniotwórczości zdobytej przez receptor. W pomiarach tych posługiwałem się kwarcem piezoelektrycznym i elektrometrem kwadransowym, według metody, która jest w użyciu w pracowni pani Curie Znając aktywność każdego receptora, obliczamy podług wyżej podanych wzorów stosunki $\frac{N_{t_2}}{N_{t_1}}$, $\frac{N_{t_3}}{N_{t_1}}$ i t. d., służące do zbudowania krzywej absorbcyi.

Dotychczas badałem absorbcyę odskoku w powietrzu i w wodorze. Doświadczenia z powietrzem wykonywane były najczęściej pod ciśnieniem 2 mm rtęci, doświadczenia z wodorem pod ciśnieniem 13 mm. rtęci. Czyniłem to dlatego, że w aparacie moim nie można było oddalić receptora więcej niż na 5 cm., a droga atomów odskoku wynosi właśnie około 5 cm., w obu gazach, pod podanemi wyżej ciśnieniami. Z drugiej strony nie można było osiągnąć

odległości mniejszych niż 2 cm. Aby zbadać zmianę wielkości N_l w obu gazach przy wyżej podanych ciśnieniach dla $l<2$, lub $l>5$, robiłem doświadczenia przy innych ciśnieniach, zakładając, że aktywność, jaką zdobywa receptor ustawiony na odległości αl pod ciśnieniem $\frac{p}{\alpha}$, jest równa aktywności, jaka dostałaby się pod ciśnieniem p, w tych samych warunkach receptorowi, ustawionemu w odległości l. Inaczej mówiąc, zakładałem, że N_l jest w danym gazie funkcyą iloczynu lp odległości przez ciśnienie, t. j. zależy tylko od liczby spotkanych przez atomy odskoku cząsteczek gazu. O słuszności tego założenia mogłem przekonać się, w pewnych szczególnych przypadkach, przez osobne doświadczenia, do uogólnienia zaś tych doświadczeń uprawniał fakt, że ab-

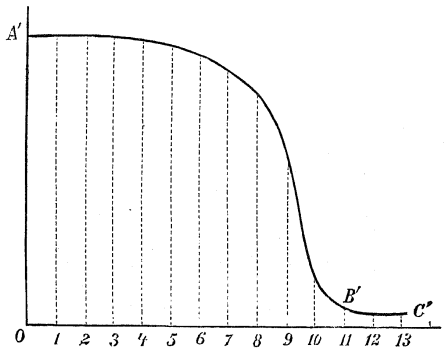

Fig. 4.

sorbcya wszystkich podobnych promieni, jako to: promieni α, β, promieni kanałowych, katodowych, zależy tylko od liczby spotkanych przez promienie cząsteczek w każdym uważanym gazie.

Szereg doświadczeń wykonywanych przy różnych ciśnieniach pozwala zbudować w ten sposób krzywe $N_l = f(l)$ w obu badanych gazach. Krzywe te przedstawione są na rys. 3 i 4. Krzywa rys. 3 odnosi się do powietrza, pod ciśnieniem 1 mm., krzywa rys. 4 do wodoru pod ciśnieniem 6 mm.

Widzimy, że liczba atomów, składających wiązkę, zmniejsza się z początku powoli; zubożenie wiązki nie przenosi 10%, aż do 5 centymetrów w powietrzu, do 6 centymetrów w wodorze. Liczba ta spada potem coraz szybciej; widzimy, że już tylko mniej więcej 5% całkowitej liczby atomów przebiega w obu gazach 11 centymetrów. Na odległościach jeszcze większych spadek staje się znowu bardzo powolny; bardzo mała liczba atomów RaB

może przebyć 100 centymetrów pod uważanemi ciśnieniami. Mogło się wydawać, że pewna niewielka liczba atomów RaB przebiega drogę bardzo znaczną. Jest jednak rzeczą wysoce nieprawdopodobną, aby atomy zawdzięczały tak daleką podróż pędowi, którego nabyły w chwili, gdy wyrzucone zostały. Jasną jest rzeczą, że chodzi tu o zjawiska drugorzędne, które z głównem przez nas badanem wikłają się. Mówiliśmy wyżej, że potencyał dodatni receptora usuwa najważniejsze z pomiędzy tych zjawisk: dyfuzyę dodatnio naładowanych zatrzymanych atomów. Według wszelkiego prawdopodobieństwa, nie wszystkie zatrzymane atomy posiadają ładunek dodatni; część ich traci zapewne ładunek, część zaś nabywa ładunku ujemnego. Wiadomo np., że cząsteczki składające promienie kanałowe w początku drogi są naładowane wszystkie dodatnio, część ich jednak ulega w drodze właśnie takim zmianom ładunku. Atomy odskoku posiadają energię niewiele większą, niż cząsteczki promieni kanałowych; jest więc rzeczą naturalną, żebyśmy im przypisywali własności podobne, i przypuszczali istnienie atomów neutralnych lub ujemnie naładowanych. Użyte w doświadczeniu pole elektryczne dyfuzyi atomów neutralnych nie powstrzyma, ujemnie naładowane pociągnie ku receptorowi. Liczba atomów jednego i drugiego rodzaju, która dostaje się na receptory, zmniejsza się bardzo powoli, gdy odległość receptora wzrasta. Przyjmiemy więc, że część krzywej (BC, $B'C'$), o łagodnym spadku, odpowiada właśnie tym zjawiskom. Za koniec drogi odskoku uważać będziemy na każdej krzywej miejsce, w którem spadek gwałtowny ustępuje miejsca łagodnemu spadkowi. Określenie to jest naturalnie nieco dowolne; nie pomylimy się jednak o więcej niż o kilka milimetrów, jeżeli przypuścimy, że droga odskakujących atomów kończy się na odległości 105 mm., w powietrzu i w wodorze, pod uważanemi ciśnieniami. Wnosimy stąd, że droga atomów odskoku byłaby 6 razy dłuższa w wodorze niż w powietrzu, gdyby te dwa gazy były badane pod jednakowemi ciśnieniami. Tak więc wodór o wiele słabiej niż powietrze absorbuje atomy odskoku, jak inne zresztą podobne promienie; przyczyną tego jest niewątpliwie nizki ciężar atomowy wodoru.

Pod ciśnieniem atmosferycznem drogi te byłyby naturalnie o wiele krótsze i wynosiłyby: 0·13 mm. w powietrzu, 0·8 mm. w wodorze. Są to odległości bardzo małe zwłaszcza, jeżeli je porównamy z drogą promieni α RaA, które przebiegają w powietrzu 4 cm, 86, to znaczy prawie 350 razy dłuższą drogę, niż atomy RaB.

Rozważmy teraz część AB, względnie $AB'B'$ badanych krzywych. Na odległościach mniejszych niż 10 cm., zjawiska dyfuzyi grają rolę bardzo małą; można więc uważać te części krzywych za właściwe krzywe absorbcyi.

Porównywając krzywe AB i $A'B'$ z krzywą Geigera, spostrzegamy pewne analogie w ogólnym charakterze wszystkich krzywych. We wszystkich przypadkach widzimy szybki spadek liczby cząsteczek u końca drogi. Wsze-

lako na krzywej Geigera spadek ten zaczyna być widoczny dopiero przed samym końcem drogi, na krzywych absorbcyi odskoku, liczba atomów zaczyna się już wyraźnie zmniejszać na stosunkowo małej odległości od krążka aktywnego. Zauważyć przytem należy, że krzywa wodoru jest bardziej podobna do krzywej cząsteczek α, niż krzywa powietrza. Widzimy, że liczba atomów utrzymuje się w wodorze bez znacznej zmiany dalej, niż w powietrzu; a spadek końcowy szybszy jest w wodorze, niż w powietrzu.

Przyjmijmy, że absorbcya atomów odskoku, podobnie jak absorbcya cząsteczek α, polega na stopniowem rozpraszaniu tych atomów, na skutek czego przestają one postępować naprzód. Rezultaty moje okazują, że skutki rozproszenia są wybitniejsze dla atomów odskoku niż dla cząsteczek α, albowiem dają się uczuć już na samym początku drogi, kiedy prędkość atomów jest największa. Poza tem widzimy, że rozproszenie odskakujących atomów jest znaczniejsze w powietrzu niż w wodorze.

Można interpretować wszystkie te fakty w sposób następujący. Atomy wyrzucane są odchylane tembardziej od swej drogi przez spotkania z cząsteczkami gazu, im prędkość ich mniejsza, a także im większe są siły przyciągania lub odpychania, jakie między dwoma rodzajami atomów w chwili spotkania działają. Jest rzeczą wysoce prawdopodobną, że siły te są tem mocniejsze, im większe są masy obu spotykających się atomów. Przypuszczenie takie zgadza się z wszystkiem, co wiemy o absorbcyi α. Wiadomo bowiem, że rozproszenie (scattering) cząsteczek α jest tem znaczniejsze, im większy jest ciężar atomowy absorbującego gazu. Przypuszczenie powyższe tłómaczy, dlaczego ciężkie i względnie powolne atomy odskoku łatwiej są odchylane i rozpraszane, niż lekkie i szybkie atomy helu (cząsteczki α); dalej, dlaczego w powietrzu skutki rozproszenia wcześniej dają się uczuć niż w wodorze.

III. O jonizacyi przez odskakujące atomy.

Mechanizm absorbcyi odskoku wydaje się zatem podobnym do mechanizmu absorbcyi promieni α; obserwowane różnice można zapewne wytłómaczyć wielką różnicą ciężaru atomowego obu rodzajów cząsteczek. Różnice w zachowaniu się obu rodzajów promieni są ważniejsze, jeżeli chodzi o spowodowaną przez nie jonizacyę. Wiadomo, że zdolność jonizacyjna cząsteczek α, stanowiących wiązkę równoległą, wzrasta w miarę, jak cząsteczki te oddalają się od miejsca, skąd wyszły. Innemi słowy, cząsteczka α jonizuje tem lepiej, im prędkość jej jest mniejsza. Zupełnie inaczej zachowują się atomy odskoku. Już dawniejsze doświadczenia autora wykazały, że jonizacya, spowodowana przez równoległą wiązkę odskakujących atomów Ra D, zmniejsza się szybko, gdy atomy te oddalają się od krążka aktywnego. Wydawało się więc, że atomy odskoku jonizują tem słabiej, im mniejsza ich prędkość. Doświadczenia z Ra D nie pozwalały jednak na wyprowadzenie wniosku takiego w sposób kategoryczny; o absorbcyi wyrzucanych atomów Ra D nic bowiem nie było wiadomo, a priori zaś możliwa była hypoteza, że spadek jonizacyi położyć należy na karb absorbcyi, t. j. zmniejszania się w badanej wiązce liczby jonizujących atomów RaD. Dlatego powtórzyłem z RaB doświadczenia jonizacyjne. Przekonałem się, posługując się metodami opisanemi w cytowanej pracy[1]), że odskok Ra B jonizuje również silnie powietrze i wodór. Zgodnie z poprzednimi rezultatami, przekonałem się, że w równoległej wiązce jonizacya ta spada szybko, gdy odległość od aktywnego krążka powiększa się. Spadek jonizacyi jest przytem o wiele szybszy, niż spadek liczby jonizujących atomów. Tak np. w powietrzu, pod ciśnieniem 1 mm., jonizacya przez atomy Ra B spada w stosunku 1·7 do 1, gdy odległość wzrasta od 25 do 45 mm.; w wodorze, pod ciśnieniem 6 mm., jonizacya spada w stosunku 3 do 1, gdy odległość wzrasta od 25 do 45 mm. Podane wyżej krzywe absorbcyi wskazują, że liczba atomów w wiązce zmniejsza się w obu gazach, w tych samych warunkach, o mniej niż 10%. Widzimy więc, że zdolność jonizacyjna pojedyńczych atomów zmniejszać się musi, gdy prędkość tych atomów się zmniejsza; rzeczą ciekawą jest przytem, że spadek jonizacyi jest wybitniejszy w wodorze, niż w powietrzu. Trudno jest objaśnić wszystkie te osobliwości. Przypomnieć raz jeszcze należy, że szybkości atomów odskoku są wiele razy mniejsze, niż prędkości cząsteczek α. Zdolność jonizacyjna tych ostatnich wzrasta wprawdzie, gdy prędkość spada, wzrastanie to jednak nie może być nieograniczone, istnieje najpewniej prędkość krytyczna, odpowiadająca największej jonizacyi; poniżej tej prędkości, jonizacya cząsteczek α spadać musi razem z prędkością, tak jak to dzieje sie z atomami odskoku

Na początku drogi swej, atomy odskoku jonizują o wiele silniej, niż cząsteczki α. Z doświadczeń moich wynika, że na odległości 25 mm. od krążka aktywnego, w powietrzu pod ciśnieniem 1 mm., odskakujące atomy Ra B wytwarzają prawie 4 razy więcej jonów, niż promienie α. Ta wysoka zdolność jonizacyjna odskoku wskazuje wyraźnie, że siły, działające przy spotkaniach atomów odskakujących, są większe niż siły, które towarzyszą spotkaniom cząsteczek α. Z obfitej jonizacyi, jaką atomy Ra B na drodze swej wywołują, wynika, że tracić muszą energię szybciej niż cząsteczki α. Tem się zapewne tłómaczy, jak to już wyżej było zaznaczone, że stosunek dróg obu rodzajów promieni (350) o wiele jest większy niż stosunek odpowiednich energij kinetycznych (50).

[1]) Le Radium, 1912, t. 9, str. 6.

I doświadczenia jonizacyjne pozwalają zatem przypuszczać, że zachowanie się odskakujących atomów jest dlatego różne od zachowania się cząsteczek α, że promienie pierwszego rodzaju są powolniejsze i utworzone z cięższych pocisków. Prawa fizyczne, rządzące absorbcyą i jonizacyą, są najpewniej w obu razach identyczne. Wszelka teorya cząsteczek α powinna być jednocześnie teoryą odskoku, i odwrotnie.

Jest mi miłym obowiązkiem wyrazić pani Curie moją szczerą wdzięczność za życzliwe wskazówki, jakich mi w ciągu pracy tej udzielała.

MIECZYSŁAW WOLFKE.

O powstawaniu obrazów optycznych w mikroskopie.

(Sur la formation des images optiques dans le microscope).

§ 1. Uginanie się światła.

Pierwszy E. Abbe[1] zauważył, że obrazy mikroskopowe przedmiotów niesamoświecących zależą od wielkości i od formy diafragmy, ograniczającej bieg promieni w mikroskopie; że wobec tego obraz otrzymany nie zawsze zgadza się z obrazem, jaki powinien powstać na zasadzie praw Optyki geometrycznej To samo zjawisko zostało następnie zaobserwowane przez L. Mandelstama[2] dla przedmiotów samoświecących. Rozbieżność ta, którą możemy obserwować w pewnych przypadkach pomiędzy otrzymanymi obrazami w mikroskopie i pomiędzy przewidzianymi przez Optykę geometryczną, tłómaczy się tem, że Optyka geometryczna nie uwzględnia zjawiska uginania się światła, lecz przyjmuje, jako podstawę rozważań, twierdzenie, że światło biegnie w ośrodku jednorodnym zawsze w kierunkach prostolinijnych. W ten sposób Optyka geometryczna nadaje promieniom świetlnym byt rzeczywisty, niezależny, gdy tymczasem z punktu widzenia Optyki fizycznej, promień świetlny jest pojęciem pochodnem, wypływającem z pojęcia fali świetlnej. Światło z fizycznego punktu widzenia w najogólniejszej formie możemy określić, jako pewną perturbacyę w przestrzeni, którą można wyrazić za pomocą

---

[1]) Zob. E. Abbe, Gesammelte Werke 1, p. 82, a także L. Zimmermann, Das Mikroskop, wyd. Fr. Deuticke, Wiedeń, 1895, lub O. Lummer, Optik, Müller-Pouillet's Lehrbuch, II, 1, § 219, p. 447—451, wyd. Vieweg & Sohn, Brunświk 1907.

[2]) L. Mandelstam, Ann. d. Phys. (4) **35**, p. 892—896. 1911.