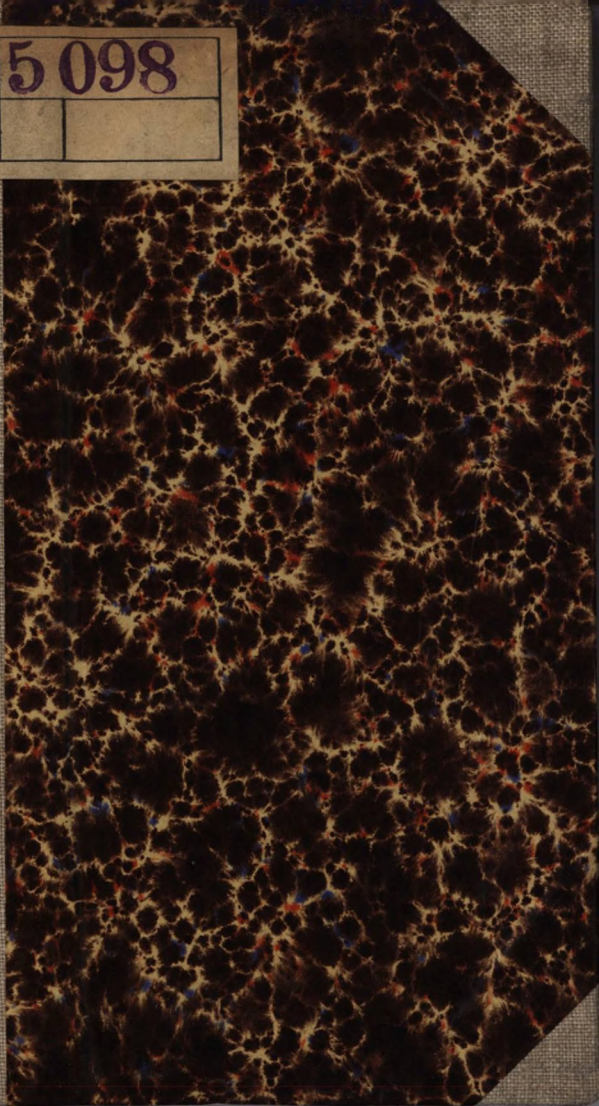
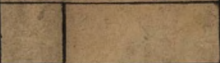
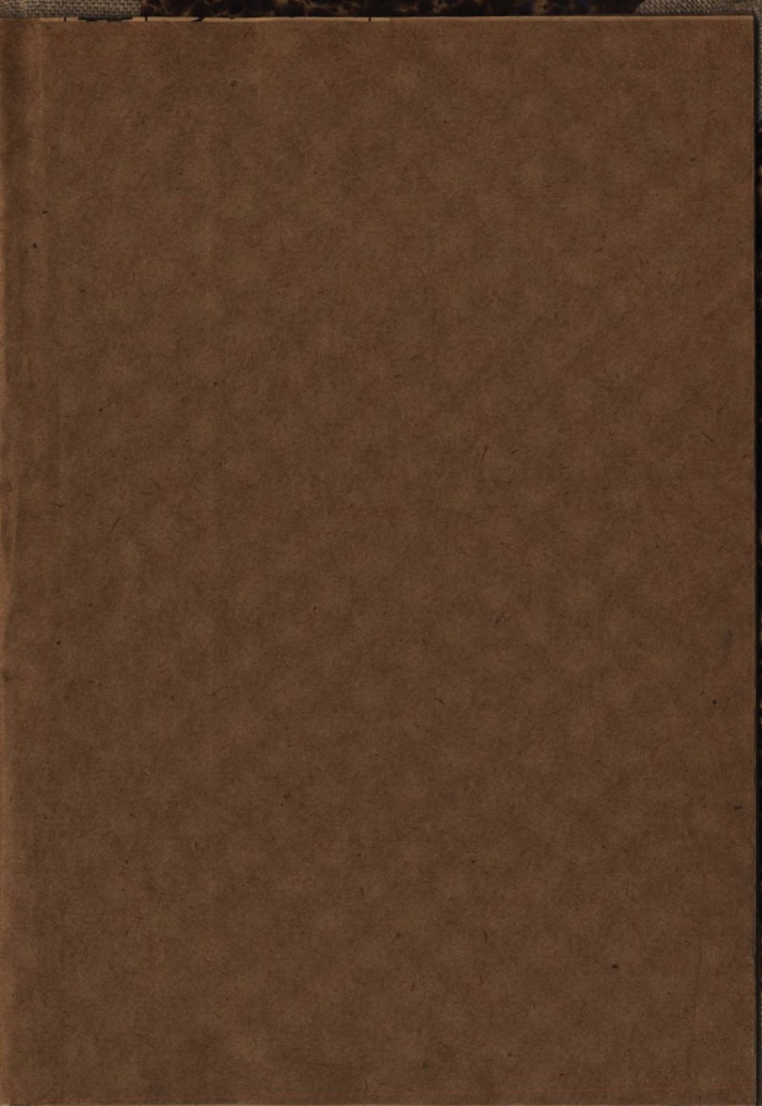


BIBLIOTEKA
GŁÓWNA
W
SP
KRAKÓW

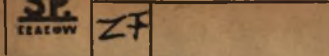
5 098











- 11 -

KDN., 15. 10. I. 53, 20.000

CZESŁAW BIAŁOBRZESKI

Zakład Fizyki P.W.S.P.

Prof. Uniwersytetu Jagiellońskiego

BUDOWA ATOMU I POJĘCIE MATERJI W FIZYCE WSPÓŁCZESNEJ



Tadeusz Juszycki
marzec 1921.

KRAKÓW 1921
KRAKOWSKA SPÓŁKA WYDAWNICZA

Odczyty wygłoszone dnia 17 i 24 czerwca 1920 r. w Towarzystwie Filozoficznym w Krakowie.

Wydawnictw Towarzystwa Filozoficznego w Krakowie

Nr. 9.



5098

*Wydawnictwo
Towarzystwa Filozoficznego
w Krakowie
1921*

1. Wstęp.

Dociekania fizyki teoretycznej, zawsze w ścisłej łączności z doświadczeniem, skupiają się przeważnie w naszych czasach dokoła trzech ośrodków: za pierwszy uważamy drugie prawo termodynamiczne, z którym łączą się rozważania statystyczne i zastosowanie rachunku prawdopodobieństwa do zjawisk przyrody, głównie w przypadku równowagi cieplnej; drugim ośrodkiem jest zasada względności, w ostatnich latach uogólniona przez swego twórcę, Alberta Einsteina: ta zasada określa niejako przestrzeń fizyczną i czas, łącząc oba wyobrażenia w pojęciu czterowymiarowej ciągłej rozmaitości o charakterze nie-euklidesowym; nakoniec dokoła trzeciego ośrodka grawitują nader liczne i rozmaite badania: mamy na myśli zagadnienie budowy atomu. Do pierwszego i drugiego ośrodka, to znaczy do badań statystycznych, jakoteż do współczesnych wyobrażeń o budowie atomu przeniknęło zagadkowe i niepokojące pojęcie kwantów, które opiera się dotychczas zwycięsko próbom przyswojenia przez myśl naukową. We wszystkich trzech wymienionych kierunkach znajdujemy głęboko sięgające kombinacje pojęć, zasługujące na uwagę i fachowy rozbiór z punktu widzenia filozoficznego. Oczywiście, że przedsta-

wienie całokształtu tych nowych idei, chociażby w zarysach najogólniejszych, wymagałoby kilku obszernych referatów. Ograniczam więc swoje zadanie do naszkicowania nader zwięzłego tej postaci, jaką przybrał w chwili obecnej problemat budowy atomu.

Najpierw musimy odpowiedzieć na pytanie, czy można mówić o budowie atomu, skoro atom, według ścisłego brzmienia wyrazu, jest to »coś« niepodzielne i niezmiennie. Istnieje tu niewątpliwa sprzeczność, pochodząca stąd, że atomy chemiczne, uważane dawniej za niepodzielne, wyobrażamy sobie teraz jako układy skomplikowane. Należałoby oczywiście nazwę atomów przenieść na części składowe owych układów; jednak terminologia pozostaje niezmienną, przeto, mówiąc o atomach chemicznych, będziemy rozpatrywać ich budowę.

Jeszcze jedna wątpliwość nasuwa się w związku z obranym przez nas tematem. Czy tego rodzaju spekulacje o budowie atomów mogą posiadać wartość dla przyrodnika, który słusznie widzi w metodzie doświadczalnej, nie zaś spekulacyjnej, najważniejszy oręż, służący do zdobycia prawd naukowych? Wydaje się, że zamierzamy zapuszczać się w ciemne gąszcze metafizyki, porzucając jasne szlaki badań pozytywnych.

Niezbyt jeszcze dawno wpływała szkoła filozoficzna — i w ślad za nią szereg wybitnych przyrodników — głosili, że metodą i celem pracy naukowej ma być możliwie wierny i najprostszy opis zjawisk, spostrzeganych zapomocą naszych zmysłów, z wyłączeniem wszelkich tworów hipotetycznych, jak atomów, cząsteczek i t. p. Otóż rzeczywistość zaprzeczyła temu przepisowi najkategoryczniej, o ile przez rzeczywistość rozumieć będziemy faktyczny rozwój fizyki współczesnej w ciągu ostatnich lat 25. Atomistyka święci dziś triumfy niebywałe i realne zdobycze naukowe, przez nią dokonane, zmusiły do milczenia jej

najzagorzalszych przeciwników. Niedosć tego, wyjątkowe zainteresowanie kwestją budowy atomów w chwili obecnej wpływa głównie stąd, że eksperymetatorzy żądają z różnych stron rozwiązania tego zagadnienia, aby zdobyć nie przewodnią dla swych poszukiwań doświadczalnych.

2. Szkic historyczny atomizmu.

Przystępując do rozwinięcia tematu, nie możemy pominąć króciutkiego szkicu historycznego, pamiętając o tem, iż nierzadko stare poglądy naukowe odradzają się przybrane w nowe szaty i ujawniają myśli płodne, w nich zawarte.

Początek atomizmu znajdujemy w naukach filozofji greckiej. Niezwykle uzdolniony naród grecki, łączący bujną wyobraźnię twórczą z przedziwnem poczuciem miary i ścisłości, odnalazł prawie wszystkie kierunki pojęciowe, których torem szła później myśl europejska. Filozofowie jońscy uczyli, że podkładem zjawisk przyrody jest substancja wszechświatowa, jako zasada zmienności. Rozwinięcie tego wyobrażenia odrazu uwydatniło tkwiącą w niem przeciwstawność pojęć: substancji, jako bytu trwałego, i zmienności zjawisk. Z jednej strony Ksenofanes i Parmenides utrzymywali, że istnieje jedyny, niepodzielny i niezmienny byt; próżni niema, wielość zaś zjawisk jest uludą. Z drugiej strony, według Heraklita, w naturze nie istnieje nic niezmiennego: wszechświat jest to nieustająca odmiana (πάντα ῥεῖ), istotą zaś rzeczy jest właśnie ów proces powstawania i rozkładu, odbywający się z niewzruszoną prawidłowością. Jednakowoż do wytłumaczenia zjawisk przyrody nie był przydatny ani byt wiecznotrwały Parmenidesa, wykluczający wszelką zmianę, ani Heraklita niepowstrzymana ruchliwość, w której niema nic trwałego. Należało szukać kierunku pośredniego, jednoczącego

oba punkty widzenia. Anaksagoras pouczał, że pusta przestrzeń nie istnieje, świat jest wypełniony mieszaniną olbrzymiej ilości cząsteczek, różniących się wyglądem, barwą, smakiem. Każda rzecz zawiera w mniejszym lub większym stopniu wszystkie rodzaje pierwiastków, mających nazwę homeomeryj. Nie są one obdarzone samodzielną zdolnością poruszania się. Istnieje specjalna siła, najsubtelniejszy ze wszystkich pierwiastek, obdarzony samo-ruchliwością i wprawiający w ruch homeomerje. Jest to myśl albo rozum uniwersalny (Νοῦς). Leukippos był pierwszym rzecznikiem atomizmu w nowożytnym pojęciu wyrazu. On rozbił byt na niezmierną ilość jednostek nadzwyczaj małych i różniących się kształtem, nazwanych atomami. Z ruchu atomów powstaje różnorodność zjawisk.

Teorię atomową systematycznie i głęboko rozwinął Demokryt. Wielki filozof z Abdery sprowadzał wszystkie zjawiska do mechaniki atomów, nie wyłączając nawet zjawisk psychicznych. Atomy Demokryta różnią się tylko kształtem i wielkością; ze sposobu ich rozmieszczenia wynika różnica twardości i gęstości ciał; są to istotne własności materji, podczas gdy barwa, ton, smak i zapach nie istnieją w rzeczach samych. Spotykamy tu po raz pierwszy jasne odróżnienie własności pierwotnych i wtórnych; później, podjęte przez Locke'a, odegrało ono ważną rolę w rozwoju przyrodoznawstwa. Demokryt rozwijał myśl o konieczności mechanicznej zjawisk przyrody i przypuszczał, że oddziaływanie na siebie atomów zachodzi tylko podczas zderzeń. Myśl bohaterów filozofji greckiej Platona i Arystotelesa poruszała się w innych kierunkach. Jednak i Platon w *Timeosie* wprowadził do swej teorii materji atomizm bezcielesnych form geometrycznych. Teorię atomową przyjęła szkoła epikurejska; jej naukę

wyłożył poeta rzymski Lukrecjusz we wspaniałych strofach poematu *De rerum natura*.

Przeciwstawność atomizmu i ciągłości w pojęciach o budowie materji, ujawniona u myślicieli greckich, przeszła do filozofji nowożytnej. Punkt widzenia ciągłości znalazł potężny wyraz w systematach Descartesa i Spinozy. Filozofja kartezyjańska przeprowadza bezwzględny dualizm: istniejący w przestrzeni świat materji i niewymierny świat duchowy są absolutnie różne. Wszystko dane w doświadczeniu jest rodzajem albo świadomego albo przestrzennego bytu. Według Descartesa ciała są częściami bezgranicznej przestrzeni: próżnia bezwzględna nie istnieje; »nic« nie może mieć wymiarów. Uznaje on zresztą możliwość istnienia elementów materji, które żadnemi wykonalnemi sposobami nie dadzą się podzielić na części, w istocie swej nie są jednak niepodzielne. Działanie na odległość Descartes odrzucił. Celem wytłumaczenia działań, zachodzących w przyrodzie, posługiwał się on hipotezą wirów, która nie wywarła wybitniejszego wpływu na rozwój wiedzy. Pojęcia podobne w ścisłej postaci odrodziły się w wieku XIX, jako teoria atomowych pierścieni wirowych Kelvina; o niej w następstwie będzie mowa.

Inną drogę obrał Leibniz w swej filozofji przyrody. Substancja materialna według niego jest siłą: wypełnienie przestrzeni i ruch są to objawy tej siły. Równocześnie substancja — siła Leibniza rozpada się na jednostki niezależne, nazwane przezeń *monadami*.

Boskowicz nadał temu dynamicznemu atomizmowi kształt, więcej odpowiadający wymogom przyrodoznawstwa. Materja, zakłada Boskowicz, jest zbudowana z atomów. Każdy atom stanowi niewymieralne centrum siły, posiadające jednak masę. Oddziaływanie między atomami zależy wyłącznie od odległości. Prawo, wyrażające tę zależność, zmienia się wraz z odległością. W znaczniejszem

oddaleniu jest to przyciąganie według prawa grawitacji Newtona. Bardzo zbliżone atomy odpychają się, co powoduje nieprzenikliwość materji. Układ atomów, tworzący dane ciało, wypełnia określoną część przestrzeni na skutek właśnie działania sił międzyatomowych.

W wieku XIX pojęcia atomistyczne utrwaliły się w naukach doświadczalnych. Najpierw Dalton wprowadził teorię atomową do chemji. Odkryte przez niego prawa doświadczalne stosunków stałych i wielokrotnych stają się zrozumiałe, skoro przyjmujemy, iż poszczególne pierwiastki chemiczne składają się z jednakowych atomów, posiadających określoną masę.

Okolo połowy stulecia została opracowana teoria kinetyczna gazów, oparta całkowicie na poglądach atomistycznych. Gaz jest to zespół cząsteczek albo atomów w stanie ruchu bezładnego, podlegającego matematycznym prawom przypadku. Cząsteczki poruszają się po liniach prostych, zmieniają zaś nagle kierunek w chwilach spotkań z innymi cząsteczkami. Przy wyprowadzaniu twierdzeń zasadniczych teorii nie potrzebujemy naogół posługiwać się określonemi wyobrażeniami o budowie cząsteczek. Najczęściej zakłada się, że cząsteczki przypominają kulki sprężyste. To założenie wywołało ostrą krytykę, wymierzoną przeciw teorii kinetycznej. Pojęcie atomu, jako ciała sprężystego, zawiera *contradictionem in adjecto*: odkształcenie sprężyste polega na zmianie układu części ciała, obdarzyć więc atom sprężystością znaczy tyle, co przypisać mu te własności, do wytłumaczenia których on sam został wymyślony. Lubo ten zarzut odsłania niewątpliwą sprzeczność w pojęciu atomu, nie może jednak bynajmniej zachwiać teorią kinetyczną, której wywody mają charakter statystyczny. — Maxwell wykazał, że nie znajdzie żadna zmiana zasadnicza, jeżeli będziemy rozpatrywali atomy, jako centra sił w duchu Boskowicza.

W tym samym czasie zrobiono niezwykle ważne odkrycia analizy widmowej i linjowych widm ciał gazowych, których wytłumaczenie przedstawiało nieprzezwykłe trudności. Podczas gdy teoria kinetyczna rozważa stan ruchu cząsteczkowego, którego cechą znamioną jest bezwzględny bezład, — światło, wydawane przez gazy rozrzedzone, objawia się jako ruch perjodyczny, niezmiernie prawidłowy. Weźmy dla przykładu parę rtęci, która w stanie znacznego rozrzedzenia może być pobudzona do świecenia sposobem elektrycznym. Promieniowanie jej składa się z olbrzymiej liczby linii widmowych, z których każdej odpowiada określona liczba drgań. Para rtęci jest gazem jednoatomowym: musimy więc przyjść do wniosku, że oddzielne atomy pierwiastków posiadają zdolność wykonywania licznych, ale całkiem określonych drgań, różniących się częstością. Oczywiście, że ani atom Demokryta, zachowujący niezmienną postać i wielkość, ani odosobnione centrum siły Boskowicza nie nadają się do wytłumaczenia emisji widm.

Znaczną wyższość pod tym względem posiadają atomy wirowe Lorda Kelvina. Koncepcja atomów wirowych wzbudza zainteresowanie również z tej przyczyny, że łączy niejako ciągłość materji z atomistyczną jej budową. Własności ruchów wirowych w cieczach doskonałych wyjaśnił Helmholtz. Doskonałą nazywamy ciecz jednolitą i pozbawioną lepkości. Zupełny brak lepkości wyklucza możliwość budowy atomowej cieczy doskonałej. Rozpatrzmy taką ciecz, w której panuje ruch dowolny. Wydzielmy gdziekolwiek małą cząstkę cieczy i wyobraźmy sobie na chwilę, że ta cząstka skrzepla, nie zmieniając masy i objętości. Jeśli nasza stała cząstka obraca się dookoła określonej osi, powiemy, iż w danym miejscu istnieje ruch wirowy. Prowadząc linię w ten sposób, aby styczna do niej w każdym punkcie wskazywała oś obrotu napotykaną

cząstki cieczy, otrzymamy tak zwaną linię wirową. Zespół linii wirowych utworzy wir. Podaję niektóre własności wirów w cieczy doskonałej, nieskończonej i nieściśliwej:

1) Wir nigdzie się nie kończy, musi więc zamknąć się w sobie, tworząc pierścień wirowy; — 2) części płynu nie wprowadzone od początku w ruch wirowy, nigdy nie będą znajdowały się w tym stanie ruchu; odwrotnie, wir istniejący na początku nie może zniknąć. Stąd wypływa, że pierścień wirowy składa się z tych samych cząstek cieczy i zachowuje niezmienną objętość; — 3) z każdym pierścieniem jest związana pewna wielkość niezmienna, nazwana nateżeniem; — 4) znając nateżenie wszystkich pierścieni wirowych, możemy znaleźć prędkość ruchu w całej cieczy.

Na podstawie tych wyników teorii, Lord Kelvin wypowiedział myśl, że atomy są to pierścienie wirowe w ośrodku ciekłym doskonałym, wypełniającym wszechświat. W rzeczy samej taki pierścień jest utworem trwałym, posiadającym stałą objętość i nateżenie. Postać jego może ulegać rozmaitym zmianom, w związku z czem posiada on zdolność wykonywania określonych drgań, które udzielają się otaczającemu ośrodkowi. Spotkanie dwu pierścieni wirowych przypomina zderzenie ciał sprężystych, ponieważ wiry nie mogą połączyć się ani przejść jeden przez drugi. Zauważę, iż szczegółowe wyjaśnienie własności pierścieni wirowych przedstawia znaczne trudności matematyczne.

Ta pociągająca koncepcja zawiera w sobie szczególną niejasność, na którą zwrócił uwagę Maxwell. Pozostaje w niej niewytłumaczona zasadnicza wielkość mechaniczna, mianowicie masa. Z punktu widzenia konsekwentnie pojętej mechaniki Newtona taki stan rzeczy wyda się niedorzecznością. Łatwo wykazać, że pewien paradoks tu istnieje. Kelvin napęlnia przestrzeń płynem,

który możemy utożsamić z eterem. Ów ośrodek wszechświatowy nie jest wszakże materją, odczuwaną przez nasze zmysły. Materją, we właściwem znaczeniu słowa, stają się te części płynu, w których utworzyły się pierścienie wirowe. Masę więc nasz plyn posiada wtedy, gdy znajduje się w stanie ruchu wirowego. Otóż masa czyli bezwładność nie jest własnością stanów ruchu, lecz samej materji. Rzecz ciekawa, iż przez swe stanowisko względem pojęcia masy teoria atomów wirowych zbliża się do elektrycznej teorii materji, której wyłącznie będą poświęcone następujące rozważania.

3. Elektryczna teoria materji.

Punktem zwrotnym w historii naszych poglądów na materję było odkrycie elektronu i określenie stosunku jego naboju do masy, dokonane przez J. J. Thomsona w r. 1897. Elektron jest to cząstka, posiadająca zawsze jednakowy nabój elektryczności ujemnej i masę 1800 razy mniejszą od masy atomu wodoru, najlżejszego z pierwiastków. Liczne badania doświadczalne doprowadziły do wniosku, że elektrony wchodzą w skład wszystkich atomów chemicznych: są to najmniejsze i zawsze jednakowe cząstki materji. Nabój elektronu jest najmniejszą ilością elektryczności, atomem elektrycznym. Ciała przyrody są wogóle neutralne, nie naelektryzowane: obok elektryczności ujemnej w postaci elektronów, musi w nich znajdować się równoważna ilość elektryczności dodatniej. Poszukiwania doświadczalne, wśród których wyróżniają się doświadczenia J. J. Thomsona nad tak zwanymi promieniami dodatnimi, doprowadziły do wniosku, że elektryczność dodatnia zawsze jest związana z cząstkami, mającemi masę, nie różniącą się od masy atomów i cząsteczek chemicznych. Obecnie utrwalił się pogląd na dodatnią część składową

atomu, wypływający z modelu atomowego Rutherforda-Bohra, który szczegółowo omówimy dalej.

W ten sposób ustaliła się elektryczna teoria materji, ciesząca się wśród fizyków uznaniem powszechnem.

Układy elektryczne, mające wyobrażać atomy, dalekie są od prostoty starej atomistyki. Cóż może być prostszego od pojęcia o atomie, stworzonego przez Demokryta i uzupełnionego przez Daltona? Mamy tyle atomów, ile liczymy pierwiastków chemicznych; każdy atom jest niezmienny i posiada określoną masę, proporcjonalną do ciężaru atomowego odpowiedniego pierwiastku. Dalton zresztą uważał, że atomy chemiczne jakościowo się różnią. Jednak ta prostota może wywierać urok tylko do czasu, póki nie spróbujemy zastosować pojęcia atomu do wytłumaczenia np. powinowactwa chemicznego, powstawania widm, nie mówiąc już o zjawiskach promieniotwórczości. Posuwam się tu do utrzymywania, iż jest ono niewystarczające i dla biologa, jeżeli weźmiemy pod uwagę ów niesłychanie skomplikowany zespół własności fizycznych i chemicznych, jakie stwierdzamy u mikroskopijnych komórek, istniejących często w postaci samodzielnych organizmów. — Następnie elektryczna teoria materji posiada w oczach badacza przyrody niezaprzeczoną wyższość pod tym względem, że podaje o budowie atomu wyobrażenia określone, dostępne sprawdzeniu doświadczalnemu. Teoria naukowa znajduje się w pozycji niewygodnej i dwuznacznej, jeżeli nie można jej ani obalić ani dowieść, albowiem taka teoria jest najczęściej bezużyteczna.

Przystępując do zbadania ustroju atomu, powinniśmy zapoznać się bliżej z naturą elektronu, to znaczy ujemnej części składowej atomu. Nabój elektronu jest elementarną ilością elektryczności i wynosi $4.8 \cdot 10^{-10}$ jednostki elektrostatycznej. Masa elektronu jest pochodzenia elektromagnetycznego i wyraża się wzorem teoretycznym:

$$m_0 = \frac{2}{3} \frac{e^2}{R c^2} \quad (1)$$

gdzie e oznacza nabój elektronu, c — prędkość światła w próżni, R — promień elektronu, który wyobrażamy w kształcie kuli jedolitej. Znając m_0 , e i c , obliczymy z tego wzoru $R = 1.9.10^{-18}$ cm. Średnica cząsteczki wodoru według teorii kinetycznej ma wartość mniej więcej 2.10^{-8} cm. Widzimy, że elektron jest ciałkiem mikroskopijnem w porównaniu z atomami chemicznymi. Stosunek wymiarów liniowych atomu i elektronu jest blisko równy stosunkowi odległości ziemi od słońca do promienia kuli ziemskiej. Jeśli wyobrażymy, iż atom urósł do rozmiarów kuli o średnicy 10 metrów, to elektron będzie wewnątrz niego, jako kulka o średnicy mniej niż pół milimetra.

Powiedziałem, że masa elektronu jest elektromagnetyczną: zastanówmy się, jaki sens mieści się w tych słowach. Gdy pragniemy wprawić w ruch jakiegokolwiek ciała, musimy wykonać pracę, przewyżczając bezwładność ciała. Praca wynosi $\frac{1}{2} m v^2$ w czym m jest to masa ciała, v prędkość, którą mu nadaliśmy. Masa m jest miarą bezwładności ciała; $\frac{1}{2} m v^2$ mierzy energję, jaką posiada masa m w ruchu z prędkością v . Przypuśćmy, że ciało zostało naładowane elektrycznością. Naokół ciała teraz działają siły elektryczne, czyli roztacza się, jak powiadamy, pole sił elektrycznych. Jeżeli ciało naelektryzowane wprawimy w ruch, powstaje dokoła pole magnetyczne, w którym mieści się pewien zasób energji. Ażeby ten zasób energji wytworzyć, musi być wykonana praca dodatkowa, która, jak wykazuje rachunek, jest również proporcjonalną do kwadratu prędkości. Reasumując — powiemy, iż praca potrzebna do nadania ciału naelektryzowanemu prędkości v , wyraża się jako $\frac{1}{2} (m + m_0) v^2$, w czym $\frac{1}{2} m_0 v^2$ przedstawia pracę dodatkową.

Uzyskany wynik daje się wytłumaczyć w ten sposób, że masa m powiększyła się na skutek naelektryzowania. Owa dodatkowa masa m_0 nazywa się elektromagnetyczną i wyraża się wzorem (1) w przypadku ciała kulistego. Doświadczalnie stwierdzono, że elektron nie posiada wcale masy zwykłej m , tylko elektromagnetyczną. Skoro tak jest, bezwładność elektronu właściwie związana jest z całym polem elektromagnetycznym, otaczającym elektron. Ale pole elektromagnetyczne jest siedliskiem energii i zarazem, jak przekonaaliśmy się, posiada bezwładność.

Fizyka współczesna postawiła postulat ogólny, głoszący, że bezwładność cechuje wszelki zapas energii fizycznej i związek między masą, która jest miarą bezwładności i energią, jest następujący:

$$m = \frac{E}{c^2} \quad (2)$$

w czem E oznacza wartość energii, c , jak poprzednio, prędkość światła.

Ażeby ułatwić przyswojenie tego pojęcia bezwładności energii, rozpatrzmy przykład, w fizyce mający ważne znaczenie. Wyobraźmy osłonę stałą zamkniętą, wewnątrz której jest próżnia. Osłona posiada bardzo małą masę, jest nieprzenikliwą dla wszelkich rodzajów promieniowań i jest utrzymywaną w temperaturze wysokiej. Aby mieć coś więcej jeszcze konkretnego przed oczyma, przypuśćmy na chwilę, iż nasze słońce składa się z cienkiej kulistej skorupy rozżarzonej, która otacza próżnię. Czy w tej próżni nic nie istnieje? Każdy rozżarzony element ścian wewnętrznych promieniuje światło widzialne i niewidzialne, ściślej mówiąc, wszelkie rodzaje fal elektromagnetycznych. Próżnię wewnątrz wypełnia więc energia promienista. Można udowodnić, że, pomijając skorupę, nagromadzona energia posiada bezwładność, którą przewyciężyć musimy, chcąc kulę w ruch wprowadzić. Bezwładność jest istotną cechą cielesno-

ści: mamy więc tu do czynienia z ciałem, utkanem z promieni, nieporównanie lżejszem i subtelniejszym od ciała w potocznem znaczeniu wyrazu, albowiem masę jego wyraża wzór (2), w którym mianownik jest zawsze olbrzymi w porównaniu z licznikiem. Ciała świetliste z dziedziny mitu i fantazji weszły do ścisłej nauki o przyrodzie.

Zarazem jesteśmy na drodze ku złaniu się pojęć, dotychczas odosobnionych, masy i energii. Bezwładność, masa staje się własnością energii i zasada zachowania czyli niezniszczalności energii obejmuje zachowanie masy czyli niezniszczalność materji.

Wracając do elektronu, nadmienię, iż kształt kulisty, który mu przypisujemy, zmienia się, gdy elektron zostanie w ruch wprowadzony. Elektron przyjmuje wtedy kształt spłaszczony tak, jak gdyby ulegał ściskaniu w kierunku ruchu. Równocześnie masa jego powiększa się w miarę wzrastania prędkości ruchu, z początku nieznacznie, a z wielką szybkością dopiero wtedy, gdy prędkość ruchu zbliża się do prędkości rozchodzenia się światła, której to prędkości elektron nie może przekroczyć.

4. Rozpraszanie cząsteczek α (alpha).

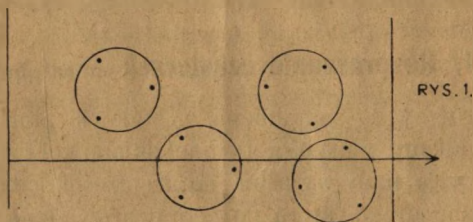
Powróćmy do zagadnienia o budowie atomu.

Poznaliśmy własności ujemnej składowej części atomu, pozostaje więc nam wyjaśnić naturę części dodatniej. Pragnę wskazać drogę, która do celu doprowadziła, jako nadzwyczaj charakterystyczną dla współczesnych badań fizycznych.

Gdy powstała teoria elektryczna materji, dwaj genialni fizycy angielscy, lord Kelvin i J. J. Thomson, wysunęli hipotezę, że elektryczność dodatnia w atomie istnieje w postaci kuli, wypełniającej całą objętość atomu. W tej atomowej kuli dodatniej są rozmieszczone elektrony

ujemne, znajdujące się w szybkim ruchu dokoła środka kuli. Nabój dodatni kuli równa się sumie nabołów ujemnych wszystkich elektronów, wchodzących w skład atomu. Otóż doświadczenia nad przenikaniem cząsteczek *alpha* (α) przez cieniutkie listki metalowe doprowadziły do wniosku, że ten pogląd jest mylny.

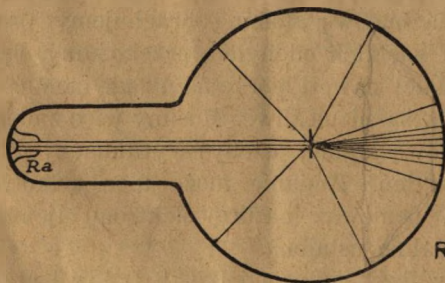
Wystawmy sobie cieniutką warstewkę, np. platyny. Według rozpatrywanej hipotezy materia warstewki ostatecznie sprowadza się do zbioru gęsto obok siebie ułożonych kulek dodatnich i elektronów, mieszczących się wewnątrz kulek. Rozmiary kul dodatnich są olbrzymie w porównaniu z elektronami. Przypuśćmy, iż wśród tego zbiorowiska przelatuje cząsteczka *alpha*, której wymiary są również niezmiernie małe w stosunku do atomu; przekonamy się o tem później. Źródłem cząsteczek *alpha*, zawsze posiadających nabój dodatni, są substancje promieniotwórcze, które bezustannie wyrzucają roje tych cząsteczek. Na swej drodze cząsteczka *alpha* porusza się wewnątrz kul atomowych i między nimi (rys. 1). Może się



zdarzyć, że cząsteczka zbliży się podczas ruchu na wyjątkowo małą odległość do jednego z elektronów, skutkiem czego nastąpi między nimi znaczne oddziaływanie wzajemne. Ażeby wynik tego oddziaływania stał się jasnym, należy wziąć na uwagę, że masa cząsteczki *alpha* jest przeszło 7000 razy większą od masy elektronu. Spotkanie przeto

cząsteczki *alpha* blisko przypomina zderzenie się kuli sprężystej, dajmy na to stalowej, ważącej 7 kg., z kulką, ważącą tylko 1 gram. Oczywiście, że zderzenie wywrze nieznaczny wpływ na kierunek ruchu i prędkość dużej kuli, podczas gdy mała kulka odskoczy od dużej, zmieniając gwałtownie swój stan ruchu. Tak samo cząsteczka *alpha*, przebiegając tuż około elektronu, nieco się odchyli od pierwotnego kierunku i postrada bardzo małą część swej prędkości, natomiast elektron dozna gwałtownego zaburzenia i może wylecieć poza obręb atomu i nawet poza obręb samego listka w przestrzeń otaczającą. Wędrując dalej wśród atomów, cząsteczka *alpha* może powiększyć swe odchylenie, jeśli się zbliży jeszcze do kilku elektronów. Kula atomowa dodatnia też sprawia odchylenia przebiegających cząsteczek *alpha*; wywołane przez nią odchylenia są również nieznaczne, albowiem im bliżej środka znajduje się cząsteczka, tem słabiej działa nań kula.

Te wszystkie odchylenia mogą być zbadane doświadczalnie zapomocą metody, osnutej na tem, że każda pojedyncza cząsteczka *alpha*, trafiając warstwę ciała zdolnego do fosforescencji, najlepiej siarczku cynku, wywołuje błysk. Oglądać to zjawisko można w przyrządzie, zwanym *spintariskopem*, o nader prostym urządzeniu. Wystawmy sobie następujący, wyidealizowany schemat doświadczenia:



RYS. 2.

We środku kuli szklanej jest umieszczona cieniutka warstewka, np. platyny. W rurce bocznej znajduje się preparat promieniotwórczy (naprzykład RaC), który wysyła ku środkowi kuli przez otworek smukłą wiązkę cząsteczek *alpha*. Powierzchnia wewnętrzna kuli jest powleczonea cienką warstwą siarczku cynku. Cząsteczki *alpha*, składające wiązkę, przebijają listek platynowy i trafiając na powierzchnię siarczku wywołują błyski, które możemy obserwować i liczyć zapomocą szkła powiększającego. Widzieliśmy, iż zbliżając się ściśle do elektronów, cząsteczki zlekka się odchylają od pierwotnego kierunku biegu: wiązka wachlarzowato rozszczepia się; następuje, jak przyjęto mówić, rozprószenie cząsteczek, na skutek czego błyski spostrzegamy dokoła miejsca, gdzie nieodchylona część wiązki trafia powierzchnię kuli. Nadmienię, iż powietrze powinno być z kuli usunięte. Otóż doświadczenie ujawniło fakt nieoczekiwany: pokazało się, że błyski są widoczne na całej powierzchni kuli, pokrytej siarczkiem cynku. Znaczy to, że niektóre cząsteczki *alpha* ulegają wśród atomów ogromnym odchyleniom; np. Geiger i Marsden obliczyli ze swych spostrzeżeń, że w listku platynowym określonej grubości średnio jedna cząsteczka *alpha* na ośm tysięcy zostaje odchylona o kąt większy od prostego, a więc wybiega od strony, przez którą wiązka wstępuje do listka. Jeżeli teraz, przyjmując wyżej wskazaną budowę atomu, obrachujemy prawdopodobieństwo tak wielkich odchyień, przekonamy się, iż jest ono znikomo małe; nawet, biorąc na uwagę cienkość listka, takie odchylenia są niemożliwe. Musimy więc zmienić nasz pogląd na budowę atomu, ażeby wytłumaczyć istnienie znacznych odchyień. Zmianie może ulec tylko hipoteza kuli dodatniej, ponieważ natura elektronu ujemnego została doświadczalnie ustalona.

Znakomity fizyk angielski Rutherford przypuścił,

że pośrodku atomu znajduje się jądro dodatnio naelektryzowane, w którym skupia się prawie cała masa atomu. Wymiary liniowe jądra są niezmiernie małe, nie przenoszące 10^{-12} cm. Jeśli w atomie neutralnym mieści się N elektronów, to nabój jądra dodatniego równa się Ne . Jądro takie stanowi skoncentrowane źródło potężnej siły elektrycznej i wytwarza warunki potrzebne, aby przelatujące w pobliżu niego cząsteczki *alpha* ulegały raptownym zmianom kierunku drogi. W rzeczy samej porównywaliliśmy przebieg spotkania cząsteczki *alpha* z elektronem do zderzenia się ciężkiej kuli z lekką kuleczką, wyobrażającą elektron; tutaj role są odwrócone: cząsteczka *alpha* jest lekką kulą, która odskakuje od ciężkiego i posiadającego większy nabój jądra. Zauważyć należy, iż stosuje się to do jąder atomów o znaczniejszym ciężarze atomowym. Rutherford wyprowadził wzór, uogólniony później przez Darwina, na ilość cząsteczek, rozpraszonych pod określonym kątem. Doświadczenie potwierdziło ten wzór z niezwykłą dokładnością. Badania nad rozpraszaniem cząsteczek *alpha* jako też nad rozpraszaniem promieni X prowadzą do określenia N liczby elektronów, wchodzących w skład atomu. Jako wynik tych poszukiwań ustaliło się następujące prawo Van der Broeka: założmy, iż wszystkie pierwiastki chemiczne uszeregowaliśmy według wzrastających ciężarów atomowych i przyjmijmy, że atom najlżejszego pierwiastku, wodoru, posiada jeden elektron; wtedy atom każdego danego pierwiastku zawiera tyle elektronów, ile wynosi numer miejsca, zajmowanego przezeń w szeregu. Nabój jądra dodatniego równa się sumie naboju elektronów czyli wynosi Ne , w czym N oznacza numer miejsca danego atomu w szeregu pierwiastków, e nabój elementarny. Każdemu więc atomowi chemicznemu odpowiada określona liczba całkowita N , nazwana liczbą atomową. Słynne ba-

dania Moseleya nad widmami promieni X ten wniosek w zupełności potwierdziły.

Jądro najlżejszego atomu wodorowego można uważać jako elektron dodatni. Przypuszczalnie jądra innych pierwiastków składają się ze zbitych skupień elektronów dodatnich i ujemnych, oczywiście z przewagą pierwszych.

Wnioski, do których doszliśmy, uwidoczniają uderzającą jedność planu, według którego są zbudowane atomy. W szeregu pierwiastków liczba elektronów w atomie wzrasta o jeden, gdy przechodzimy od jednego pierwiastka do następnego, i zarazem jądro dodatnie zyskuje dodatkowy nabój elementarny. Dalej upewniliśmy się, że ciężar atomowy nie powinien być uważany jako główna cecha pierwiastku chemicznego. Miejsce pierwiastka w układzie perjodycznym wskazuje nie ciężar, lecz liczba atomowa, która określa też główne własności fizyczne i chemiczne danego ciała pierwiastkowego.

Wspomnę, iż z nowym dowodem tego wniosku przyszły doniosłe prace świeżej daty nad grupami czyli plejadami pierwiastków, zwanych izotopami. Pierwiastki te różnią się ciężarem atomowym, lubo musimy im przyśadzić to samo miejsce w układzie perjodycznym i ten sam nabój jądra. Zgodnie z tem, ich zasadnicze własności chemiczne i fizyczne są zupełnie jednakowe. Np. nie można ich rozdzielić w mieszaninie sposobami chemicznymi.

5. Budowa atomu według Rutherforda. — Serje widmowe.

Bilans naszych rozważań dotychczasowych przedstawia się jak następuje: atom chemiczny wyobrażamy sobie jako układ elektronów ujemnych, krążących dokoła jądra dodatniego o nadzwyczaj małych wymiarach. Zwykle przypuszcza

się, że elektrony krążą w tej samej płaszczyźnie, tworząc pierścienie współśrodkowe. Każdego uderzyć musi w tej koncepcji podobieństwo do układu słonecznego, w którym słońce — ciało centralne o masie olbrzymiej — jest otoczone planetami, krążącymi prawie w tej samej płaszczyźnie.

Makrokosmos i mikrokosmos są zbudowane według planów analogicznych. Różnica wybitna przejawia się w stosunku sił działających w obu układach, słonecznym i atomowym. Siły przyciągania pomiędzy jądrem i elektronami są niezmierne w porównaniu z siłą Newtonowskiej grawitacji, o ile, rzecz jasna, odniesiemy zestawiane siły do jednakowych mas. Można to twierdzenie unaocznic następującym przykładem: Mamy dwie masy równe jednemu gramowi, dajmy na to dwie kulki żelazne; umieszczone w odległości 1 metra ciążą ku sobie siłą, która wynosi $6.6 \cdot 10^{-12}$ dyny, czyli niespełna $7 \cdot 10^{-16}$ ciężaru grama. Tak drobną jest siła grawitacji małych mas. Pomyślmy teraz, iż została wykonana następująca operacja: z jednej kulki wyjęto wszystkie elektrony ujemne, wchodzące w skład jej atomów, i umieszczono na drugiej kulce. Pierwsza kulka będzie miała nabój równy całkowitej ilości elektryczności dodatniej, znajdującej się w gramie żelaza, druga — taki sam nabój elektryczności ujemnej. Z odległości jednego metra kulki będą wywierały na się przyciąganie mniej więcej $5 \cdot 10^{16}$ centnarów ($5 \cdot 10^{21}$ gramów); najpotężniejsze mechanizmy dalekie są od zrealizowania takiej potwornej siły, skupionej w atomach materji. Każdemu, kto posiada elementarną znajomość mechaniki, jest jasnym, że dla zrównoważenia przyciągania jąder elektrony muszą krążyć wewnątrz atomów z olbrzymią prędkością, sięgającą kilku tysięcy kilometrów w sekundzie. Zarazem staje się widocznem, że energja nagromadzona w atomach materji przekracza bezmiernie granice tych pojęć o zapasach energii, jakie tworzymy z obserwacji spotykanych w przy-

rodzie i używanych w praktyce źródeł energii. Niezbitem świadectwem istnienia olbrzymiej energii wewnątrz-atomowej są ciała promieniotwórcze.

W ten sposób myśl naukowa zdobyła pogląd wysoce jednolity w kwestji budowy materji. W miejsce kilkudziesięciu odosobnionych utworów przyrody — atomów chemicznych — mamy obecnie dwa we właściwym znaczeniu słowa atomy: elektrony dodatni i ujemny, związane potężnym polem elektromagnetycznym, napelniającem nieprzerwanie przestrzeń.

Przyjrzyjmy się nieco bliżej temu kunsztownemu mechanizmowi, jaki wyobraźnia nasza widzi w atomie chemicznym. Układ atomowy możemy podzielić na trzy, że tak powiemy, sfery: w e w n ę t r z n ą, ś r e d n i ą i z e w n ę t r z n ą.

Pierwszą tworzy jądro dodatnie atomu. W niem, jak to już wiemy, skupia się prawie całkowita masa atomu, co znów przypomina rolę słońca w naszym układzie planetarnym. Jądra atomów składają się prawdopodobnie ze skupień jąder wodorowych, czyli elektronów dodatnich, i elektronów ujemnych w liczbie mniejszej. Naprzykład jądro helu tworzą, jak przypuszcza Rutherford, cztery elektrony dodatnie i dwa ujemne. Cząsteczki *alpha* są właśnie jądrami helu; są one więc nadzwyczaj drobne w porównaniu z atomami chemicznymi. — Można domyślać się, że głównymi składnikami jąder pierwiastków są jądra wodoru i helu. Najważniejszą cechą, wyróżniającą dany atom wśród innych, stanowi nabój dodatni jego jądra; ciężar atomowy, jak widzieliśmy, jest wielkością drugoplanową. W jądrach atomowych biorą początek własności ciał najbardziej niedostępne dla wpływów zewnętrznych. Tutaj należą przedewszystkiem zjawiska promieniotwórcze, nie ulegające, jak wiadomo, żadnym oddziaływaniom fizycznym i chemicznym. Cząsteczki *alpha* (α) i *beta* (β) wylatują prawdopodobnie z jąder atomów promieniotwór-

czych, co pociąga za sobą kolejną przemianę jednych pierwiastków promieniotwórczych na inne. Jądru atomowemu możnaby było przypisać siłę ciężenia powszechnego. Jak już jednak nadmieniliśmy, Einstein uczynił głęboko sięgającą próbę, żeby zrozumieć ciężenie jako własność bezpośrednio związaną z rozciągłością przestrzenno-czasową.

Do drugiej sfery atomu zaliczamy wewnętrzne pierścienie elektronów mocno zespolone z jądrem; ażeby je rozerwać i wyswobodzić elektrony, z których się składają, potrzeba wyjątkowo potężnych, nagłych oddziaływań, jakimi są naprzykład uderzenia elektronów katodowych w rurkach Roentgena.

Trzecią sferę tworzą w atomie elektrony zewnętrznego pierścienia; zespół tych elektronów jest jakby powierzchnią atomu i znajduje się w najbardziej luźnym związku z jądrem. Za pośrednictwem elektronów powierzchniowych atom odbiera wpływy otaczającej materji. Podobnie jak dramat życia i okresowy bieg przemian przyrody odbywa się na powierzchni ziemskiej, nie sięgając głębin przenoszących kilka kilometrów w oceanach i o wiele mniejszych na lądach, ogromna większość zjawisk fizycznych, jak to akustycznych, świetlnych, elektrycznych i cieplnych, ogranicza się do powierzchni atomu, czyli biorą w nich udział głównie elektrony zewnętrznego pierścienia. Tu też zachodzą działania chemiczne.

Dotychczasowe ujęcie zagadnienia budowy atomu pozostawiło dwie luki, które domagają się uzupełnienia. Nie rozstrzygnęliśmy pytania, zasadniczego w oczach fizyka: czy ów zespół elektronów z jądrem pośrodku jest układem stałym? Przecież atom właśnie odznacza się nadzwyczajną trwałością, uważany był aż do odkrycia pierwiastków promieniotwórczych za niezmienny. Tymczasem z punktu widzenia klasycznej dynamiki nasz model atomowy jest niestały, to znaczy nie ma niezbędnej podstawy do

istnienia. Łatwo o tem przekonamy się, jeżeli weźmiemy pod uwagę, iż każdy elektron, krążący wewnątrz atomu z prędkością niezmierną, musi wzniecać fale elektromagnetyczne, które wciąż zużywają jego energję. To stopniowe wyczerpywanie się energii musi w krótkim czasie doprowadzić do rozpadu układu atomowego.

Drugą lukę stanowi nierozwiązana jeszcze kwestja, czy opisany model atomu jest przydatny do wytłumaczenia emisji widm linjowych, właściwych pierwiastkom chemicznym.

Obydwie luki zostały równocześnie zapełnione przez teorię, którą zbudował Bohr, wychodząc z postulatów, odbiegających jaskrawo od klasycznych metod ujmowania zjawisk fizycznych. Nim zaznajomimy się z jego teorią, wypada słów kilka poświęcić strukturze widm.

Linje widmowe wielu pierwiastków grupują się w szeregi tego rodzaju, że długości fal lub częstości drgań wszystkich linii, należących do danego szeregu, mogą być wyrażone zapomocą prostego wzoru matematycznego. Zauważymy, iż, oznaczając przez n częstość, to znaczy ilość drgań świetlnych w sekundzie, odpowiadających danej linii widma, — przez λ długość jej fali, przez c prędkość rozchodzenia się światła w powietrzu (ściślej w próżni), mamy

$$n = \frac{c}{\lambda}$$

(na przykład w środku mniej więcej widma widzialnego $\lambda = 0.00005$ cm.; podstawiając

$$c = 3.10^{10} \frac{cm.}{sek.}$$

znajdziemy $n = 6.10^{14}$).

Prawidłowe układy linii widmowych będziemy nazywali serjami. W r. 1885 Balmer znalazł słynny

wzór, przedstawiający serję linii widma wodoru. Ten wzór pisze się w postaci:

$$n = N_0 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{p^2} \right)$$

w czem N_0 oznacza liczbę stałą uniwersalną, albowiem, jak wykazał Rydberg, figuruje ona we wszystkich serjach widmowych. Według najnowszych pomiarów

$$N_0 = 3 \cdot 29 \cdot 10^{15} \frac{1}{\text{sek.}};$$

p jest to dowolna liczba całkowita, rozpoczynając od 3. Podstawiając za p : 3, 4, 5 i t. d., otrzymamy częstości drgań, odpowiadające kolejnym linjom widma wodorowego. Widma niektórych gwiazd oraz wyskoków słonecznych zawierają liczne linje wodoru, nie występujące przy doświadczeniach ziemskich. Wzór Balmera stosuje się do nich wszystkich z niezwykłą dokładnością.

Ogólny wzór na serje widmowe pierwiastków można napisać w postaci:

$$n = f_1(p_1) - f_2(p_2)$$

w czem $f_1(p_1)$ i $f_2(p_2)$ oznaczają funkcje liczb całkowitych p_1 i p_2 . Charakterystycznym jest, że częstość drgań przedstawia się jako różnica dwu wyrazów, zależnych od liczb całkowitych. Linje, z których składa się dana serja, mają pewne wspólne własności fizyczne i niewątpliwie wspólne pochodzenie. Szczególnie przykuwa uwagę istnienie stałej N_0 we wzorach rozmaitych seryj. Wskazuje to na jakąś cechę, należącą do wszystkich ciał przyrody.

6. Teorja Bohra powstawania widm linjowych.

Gdy teraz zapagniemy odpowiedzieć na pytanie, w jaki sposób powstają widma linjowe, napotkamy trudno-

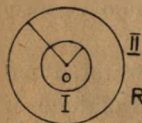
ści niemal bez wyjścia. Chodzi o to, ażeby obmyśleć mechanizm atomowy, zdolny do wykonywania licznych i zupełnie określonych drgań, któreby, rozchodząc się w otaczającej przestrzeni w postaci fal elektromagnetycznych, ukazały się w widmie jako linje odosobnione. Nie będę rozpatrywał licznych układów atomowych, składających się z części przeciwnie naelektryzowanych, które miały o tego celu służyć i pojawiały się przeważnie na szpaltach czasopism naukowych angielskich, Wszystkie odznaczały się sztucznością i niedoskonale swe zadanie rozwiązywały. Lord Rayleigh dawno już zwrócił uwagę na swoistą trudność, związaną z charakterem wzorów na serie widmowe. Jeżeli istnieje analogja pomiędzy mechanizmem powstawania drgań świetlnych a innymi znanymi ruchami drgającymi, natenczas równanie, określające częstość drgań, powinno być drugiego stopnia. Tymczasem równania seryj widmowych są pierwszego stopnia względem częstości drgań. Dowcipnie tę trudność starał się ominąć przedwcześnie zmarły, nadzwyczaj utalentowany fizyk szwajcarski Ritz zapomocą magnetycznego modelu atomu. Wszystkie te próby straciły w dużej mierze znaczenie wobec utrwalenia wyżej rozwiniętego poglądu na budowę atomu, opartego na wymownych argumentach rzeczowych. Lecz przez to trudność omawiana raczej się powiększyła: zagadka emisji widm stała się jeszcze bardziej niezrozumiałą.

Ograniczymy się w dalszym ciągu prawie wyłącznie do rozpatrzenia widma wodoru, którego teoria została opracowana w sposób prawie kompletny.

Atom wodoru, jak wiemy, składa się z elektronu czyli jądra dodatniego, dokoła którego krąży jeden elektron ujemny. Obydwa posiadają elementarny nabój elektryczny. Jakim sposobem układ tak prosty może wydawać wielką ilość linij, które obserwujemy w widmie wodoru? W r. 1913

młody duński uczony, Niels Bohr, pracujący podówczas u Rutherforda w Anglii, podał rozwiązanie problemu, uderzające śmiałością i prostotą. Zużytkował on w tym celu tajemnicze pojęcie kwantów, które utrwaliło się w fizyce pomimo tego, iż znajduje się w sprzeczności jaskrawej z dotychczas obowiązującymi założeniami teorii fizycznych. W związku z tem na początku swej rozprawy stwierdza Bohr, iż prawa, rządzące działaniami wewnątrzatomowymi, odbiegają od praw dynamiki klasycznej i wymagają wprowadzenia kwantów. Wydaje się istotnie niewątpliwem, iż, biorąc na uwagę całokształt badań współczesnej fizyki teoretycznej, musimy zgodzić się z tem twierdzeniem.

Zrozumienie myśli zasadniczej Bohra nie nastrocza trudności. Ograniczymy się do przypadku najprostszego, gdy dokoła jądra elektron krąży po okręgu koła. Bohr zakłada, że wśród nieskończonej mnogości torów kołowych jest grupa takich, które wyróżniają się odrębnymi własnościami. Jest to grupa torów stałych elektronu.



RYS. 3.

Jeżeli elektron porusza się po jakim bądź torze niestałym, ruchowi jego towarzyszy promieniowanie i droga ulega zmianie, dopóki elektron nie trafi na drogę stałą. Po drodze stałej ruch odbywa się bez promieniowania i do

wytrącenia elektronu z tej drogi potrzebny jest potężny wpływ zewnętrzny. Istnienie torów stałych zabezpiecza trwałość atomu. Podkreślić należy, iż dynamika klasyczna zupełnie nie dopuszcza tego wyróżnienia torów stałych, uważając wszystkie tory za niestałe. Bohr wydziela tory stałe zapomocą stałej Plancka h , noszącej nazwę kwantu działania (*Wirkungsquantum*) i grającej najważniejszą rolę w teorii kwantów.

Jeżeli oznaczymy przez m masę elektronu, r promień

toru kołowego, v prędkość ruchu elektronu, wówczas na torze stałym spełnia się równanie:

$$2\pi r \cdot v = p \cdot h \quad (1)$$

w czym p oznacza liczbę całkowitą. Podstawiając za p kolejne liczby całkowite, otrzymamy grupę torów kołowych stałych. Dalej wprowadzimy wielkość W , oznaczającą energję, jaką posiada nasz układ atomowy. Rozpatrzmy dwa tory stałe, którym odpowiadają wartości W_1 i W_2 na energję całkowitą układu, przyczem $W_2 > W_1$; należące do nich liczby p są p_1 i p_2 (rys. 3).

Podstawowa myśl Bohra streszcza się w następującym postulatcie:

Gdy elektron, wytracony z drugiego toru stałego przechodzi na pierwszy, ruchowi jego towarzyszy emisja energji promienistej w postaci drgań, mających określoną częstość n , którą określa wzór

$$W_2 - W_1 = hn \quad (2)$$

(iloczyn hn jest to kwantum energji). Oczywiście, że $W_2 - W_1$ wyraża ilość straconej podczas przejścia energji. Z dwu napisanych równań wyprowadza się natychmiast wzór Balmera.

Dalej posługiwać się już będziemy prawami dynamiki klasycznej; piszemy więc równanie, wyrażające, iż przyciąganie jądra równoważy siłę odśrodkową krążącego elektronu:

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{e^2}{r^2} \quad (3)$$

Z (1) i (3) otrzymujemy

$$r = \frac{p^2 h^2}{4\pi^2 e^2 m}, \quad v = \frac{2\pi m e^2}{ph} \quad (4)$$

Stąd natychmiast obliczymy promienie stałych torów; dla toru pierwszego, odpowiadającego $p = 1$, mamy $r_1 = 0.55 \cdot 10^{-8}$. Jest to stan normalny atomu wodorowego.

Według (3) energia kinetyczna elektronu

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{e^2}{r} \quad (5)$$

Gdy elektron znajduje się w nieskończonej odległości od jądra, układ posiada energję potencjalną, którą oznaczymy przez C . W odległości r — energia wynosi

$$W = C - \frac{e^2}{r} + \frac{1}{2} m v^2 \quad (6)$$

($C - \frac{e^2}{r}$ jest to energia potencjalna układu)

albo z (5):
$$W = C - \frac{e^2}{2r}$$

Równanie (4) daje $W = C - \frac{2\pi^2 m e^4}{p^2 h^2}$; nakoniec, podstawiając do (2), mamy:

$$n = \frac{2\pi^2 e^4 m}{h^3} \left(\frac{1}{p_1^2} - \frac{1}{p_2^2} \right)$$

Jest to uogólniony wzór Balmera, przyczem

$$N_0 = \frac{2\pi^2 e^4 m}{h^3}$$

Wartości na e , m , h są znane z pomiarów. Podstawiając je, obliczymy $N_0 = 3 \cdot 26 \cdot 10^{15}$, wynik uderzająco zgodny z wyżej podaną liczbą. Tu po raz pierwszy znaleziono ścisły związek pomiędzy stałą seryj widmowych i stałymi uniwersalnymi, jakimi są: nabój i masa elektronu oraz wielkość h Plancka *).

Pomimo tego świetnego wyniku, teoria Bohra spotkała się początkowo ze sceptycyzmem. F e c h n e r powiedział w swojej *Atomenlehre*, iż w naturze fizyka głęboko jest zakorzeniony zdrowy opór przeciw zbyt pochopnemu przy-

*) We wzorze Balmera $p_1 = 2$; wykryto serje, dla których $p_1 = 1$ i 3.

mowaniu pojęciowych nowości. Zgodność wskazaną przypisywano zręcznemu zestawieniu dowolnych założeń. W dalszym ciągu jednak opór musiał być ogromnie zredukowany.

Wzory Bohra, nieco poprawione z uwzględnieniem ruchu jądra, uzyskały uderzające potwierdzenie w doświadczeniach nad wodorem, helem i nawet innymi pierwiastkami oraz nad promieniami X, wydawanymi przez ciężkie metale. Stało się niewątpliwem, że w nich tkwi więcej, niż zręczna kombinacja.

Następnie Sommerfeld rozwinął teorię Bohra, uogólniając postulat pierwszy [patrz wzór (1)]. Dzięki temu mógł on wyodrębnić drogi stałe o kształcie więcej skomplikowanym niż koło, mianowicie eliptyczne, i napotykanne w mechanice niebieskiej drogi, zwane warunkowo *perjodycznymi*. Subtelne pomiary Paschena, który wykrył skomplikowaną strukturę linii widm wodoru i helu, okazały się w zgodzie zdumiewającej z teorią Bohra-Sommerfelda. To samo da się powiedzieć o badaniach najnowszych nad widmami promieni X.

Bynajmniej wszelako stąd nie wypływa, ażeby założenia Bohra były zadowalające z punktu widzenia wymagań, jakie stawiamy teorjom fizycznym; szczególnie ta uwaga odnosi się do postulatu, wyrażonego wzorem (2).

Niemieccy autorowie, zgłębiający teorię Bohra, robią uwagę, iż ów postulat należy do kategorii *Bauernregeln*; w dodatku posiada w swem brzmieniu pierwiastek teleologiczny, obcy metodzie fizycznej. Nie udało się go jednak zastąpić innym, nie podlegającym tym zarzutom. Dopiero, gdy zasadnicze prawa działań w przyrodzie zostaną rozszerzone i ujęte w ten sposób, ażeby objąć wraz ze zjawiskami dostrzegalnymi dla zmysłów naszych — owe ukryte mechanizmy atomowe, albo inaczej mówiąc, gdy dokonamy syn-

tezy teorii kwantów i dynamiki klasycznej, znikną podobne tymczasowe hipotezy.

Nadmienię, że konieczności przyjęcia dróg stałych w atomowych układach nie zaprzeczy dziś żaden fizyk, który badania współczesne do gruntu poznał.

7. Zagadnienia naukowo-filozoficzne, związane ze współczesną teorią materji.

Pragnę swój szkic zakończyć kilkoma uwagami ogólniejszej natury, mającemi na celu wysunięcie niektórych zagadnień naukowo-filozoficznych, nie kusząc się o ich rozwiązanie lub nawet szczegółowe omówienie.

Nawiązując do naszego tematu, możemy w rzeczywistości takiej, jaką ogląda oko duchowe fizyka, odróżnić trzy pokłady, czyli uwarstwienia: pierwszy jedynie odsłania się bezpośrednio naszym zmysłom; jest to świat wrażeń wyciał przyrody, uposażonych w różnice jakościowe barw, dźwięków, ciepła i zimna, twardości, płynności i t. d.

Drugi pokład rzeczywistości stanowią cząsteczki i atomy chemiczne, związane siłami międzycząsteczkowego przyciągania i znajdujące się w ustawicznym ruchu cieplnym. W nauce XIX wieku ów świat atomów, zanurzonych w substancji wszechświatowej, zwanej eterem, zastępował niejako poprzedni świat zmysłowy. Cechy zmysłowe ciał, jak to: ciepło, barwy, dźwięki, z punktu widzenia przedmiotowego rozpatrujemy jako ruchy cząsteczek i ruchy falowe, rozchodzące się w eterze.

Fizyka wieku XX odkryła trzeci, najgłębszy pokład rzeczywistości, który staraliśmy się opisać w naszym wykładzie. Tutaj substancja materjalna, osnowa zjawisk fizycznych i chemicznych, odsłania się jako elektryczność skupiona w cząstkach elementarnych,

elektronach dodatnich i ujemnych. Z tych dwu sprzężonych ze sobą ostatnich elementów materji, obdarzonych własnościami przeciwnymi, składa się poprzedni świat atomów i cząsteczek, t. j. skupień atomów.

Niezmiernie luźną, jak widzieliśmy, sieć, utkaną z elektronów, spaja potężne pole elektromagnetyczne, które, wypełniając nieprzerwanie przestrzeń, wprowadza pierwiastek ciągłości w koncepcję świata fizycznego. Właściwie zastępuje ono eter, który prawie znikł z widowni, szczególnie pod wpływem teorii względności. Pole elektromagnetyczne posiada bezwładność, którą teoria względności konsekwentnie przypisuje wszystkim rodzajom energii, utożsamiając masę i energję.

Nierzadko zdarza się spotykać z mniemaniem, że pojęcia atomów, elektronów, wprowadzone do dwu głębszych pokładów rzeczywistości, mają charakter metafizyczny. Nie ulega zaprzeczeniu, że koncepcje fizyki nowoczesnej odznaczają się śmiałością, która pozostawia daleko za sobą najbardziej spekulacyjne dociekania metafizyczne. Lecz na te zawrotne wyżyny myśli prowadzi badacza sama przyroda, samo doświadczenie, odsłaniające coraz nowe i zdumiewające fakty, że wspomnę tylko o zjawiskach promieniotwórczych. Nie można jednak upatrywać różnicy pomiędzy pojęciami metafizycznymi i tworamii hipotetycznymi, takimi jak atomy, elektrony, w tem, że pierwsze pojęcia są niezależne od doświadczenia. Weźmy dla przykładu jakiegokolwiek typowe badanie metafizyczne, np. to, które Bergson przeprowadza w swem dziele *Matière et mémoire* nad stosunkiem duszy do ciała. Jak pracowicie i oględnie, wciąż powołując się na fakty wewnętrznego doświadczenia lub zaczerpnięte z fizjologii mózgu, buduje on swe wnioski. Charakter metafizyczny nadaje temu badaniu nie brak związku z doświadczeniem, ale niemożliwość metodycznego sprawdzenia wniosków teorii lub przy-

najmniej bardzo ograniczony zakres sprawdzalności. Nie można wprowadzić zaprzeczyć istnieniu postulatów fizycznych niesprawdzalnych, lecz należą one do wyjątków. Teoria fizyczna dopiero wtedy posiada właściwy jej charakter, gdy wskazuje drogi doświadczalne, służące do jej sprawdzenia. Nie znaczy to, aby sprawdzalność miała być zawsze lub nawet w większości wypadków bezpośrednią. Sprawdzenie polega na tem, że liczne a odmienne doświadczenia zbiegają się w jednym punkcie, wytwarzając swym zgodnym chórem pewność. Najważniejszą wszakże cechą sprawdzalności fizycznej jest ilościowy jej charakter. Teoria fizyczna zwykle przyobleka się w szatę matematyczną; dane więc liczbowe, wyciągnięte z pomiarów, mogą ją potwierdzać lub obalać w sposób nie dopuszczający wątpliwości. Zazwyczaj coraz bardziej wzrastająca precyzja pomiarów, pozwalająca na uchwycenie coraz subtelniejszych różnic, prowadzi do udoskonalenia i rozwoju samychże teoryj.

Doświadczenie więc i matematyka zabezpieczają fizykę od błędzenia w krainie bezpłodnych spekulacji: pierwsze trzyma ją na uwięzi rzeczywistości, druga kieruje ją ku wykrywaniu stosunków ilościowych wymierzalnych. Zarazem matematyka zmusza do ścisłych definicyj wielkości fizycznych, ponieważ mają one figurować we wzorach matematycznych, Lagrange zaś powiedział, że matematyka nie ma symbolów do wyrażenia niejasnych pojęć: »Les mathématiques n'ont pas de signes pour exprimer des notions confuses«.

Teraz zadamy pytanie: czy owe trzy pokłady rzeczywistości są istotnie rzeczywistością? — Innemi słowy, czy atomy i elektrony istnieją tak, jak np. słońce na niebie, czy są tylko tworam i umysłowemi, użytecznemi przy pracy nad poznawaniem zjawisk przyrody?

Opinia większości fizyków skłania się ku przyjęciu

bytu rzeczywistego atomów i cząsteczek. Przytoczę zdanie H. A. Lorentza, jednego z najbardziej wybitnych i zarazem ogłędnego w swych sądach teoretyka. Mówiąc w książce wydanej w r. 1916 pod tytułem: *Les théories statistiques en thermodynamique* o teorii atomistycznej, wyraża się w sposób następujący: »Quant aux éléments avec lesquels sont construites ces théories, il n'est guère possible aujourd'hui de douter de leur existence depuis que *la réalité moléculaire* a été presque rendue sensible à nos yeux; les molécules existent pour nous aussi bien que beaucoup d'objets que nous ne voyons pas directement et de la réalité desquels il ne nous viendrait pourtant pas à l'esprit de douter«. To samo w sposób jeszcze więcej stanowczy twierdzą Perrin i Nernst, nieco mniej wyraźnie Planck w swem przemówieniu przy objęciu rektoratu w uniwersytecie berlińskim. Zapewne filozofowi wydadzą się podobne zdania niekrytycznymi. Jednak każdy, kto się zapozna z ważniejszymi pracami nad jonizacją, promieniotwórczością, ruchem Browna, wyladowaniem elektrycznym w gazach rozrzedzonych, przyzna, że sprawiają one nieodparte wrażenie namacalnej rzeczywistości odnośnie do cząsteczek, atomów, elektronów, jonów. W każdym razie możemy twierdzić z pewnością, iż w przyrodzie istnieje nieciągłość ostateczna, której osnowa najgłębsza ma charakter elektryczny.

Inaczej sprawa się przedstawia z teorjami, które, posługując się pojęciami atomistycznymi łącznie z hipotezą kwantów, usiłują ująć całokształt zjawisk w system pojęciowy. W tych teorjach współczesnej fizyki istnieje głęboko przebiegająca sprzeczność, wewnętrzne rozdzarcie. Grupa badań teoretycznych posługuje się stale pojęciem kwantów, które wprowadza w czynności przyrody nieciągłość, niczem nie usprawiedliwioną z punktu widzenia klasycznej dynamiki. Nie udało się dotychczas uzgodnić starych

i nowych pojęć — podobnie jak, niestety, nie powiodła się próba, podjęta po zakończeniu Wielkiej wojny europejskiej, aby pogodzić sprzeczne interesy ludów i doprowadzić je do zgodnego współżycia.

To dziwne bytowanie obok siebie dwu sprzecznych szeregów pojęciowych stanowi objaw niepokojący, logicznie niedopuszczalny i anarchiczny: usunięcie go jest najważniejszym zadaniem, jakie obecnie stoi przed teoretykiem. Równocześnie teoria względności dokonała rewolucji w wyobrażeniach czasu i przestrzeni; częściowe tylko powodzenie tej rewolucji wystarczy, aby obalić szereg pojęć, uważanych dawniej za niewzruszone. Ów stan rzeczy wykazuje, że pogląd, jakoby teorie naukowe stanowiły wiecznotrwałe prawodawstwo, któremu podlega przyroda, nie ma racji bytu. Należy raczej rozpatrywać hipotezy i teorie jako narzędzia myślowe pracy naukowej, dążącej do zdobycia przedmiotowej rzeczywistości. Podobnie jak narzędzia, służące do obserwacji i eksperymentu, stają się coraz doskonalsze, teorie tak samo przechodzą proces rozwojowy, który zazwyczaj nie kończy się upadkiem, lecz podporządkowaniem koncepcjom ogólniejszym. Nowo powstające teorie przypominają często pierwotne narzędzia, jak np. teoria Bohra, lecz i z pomocą narzędzia pierwotnego daje się przecież coś zrobić.

Na pojęciu teoryj, jako narzędzi użytecznych przy poznawaniu doświadczalnym przyrody, nie można, zdaniem mojem, poprzestać. Niezaprzeczalna skuteczność teoryj, które nazywamy płodnymi, możność przewidywania nowych zjawisk, jakiej one dostarczają, zniewala do przeświadczenia, że w nich tkwi treść, głębiej sięgająca w rzeczywistość, niż się zawiera w pojęciu użyteczności. Nieprzemijające pierwiastki teoryj fizycznych nietrudno znaleźć. Wzory matematyczne, trafnie ujmujące bieg zjawisk przyrody, posiadają byt trwały wśród zmiennych kształ-

tów pojęciowych, jakie przybiera pierwotnie z niemi związana teoria. Mogą one okazać się tylko przybliżonym wyrazem stosunków rzeczywistych i podporządkować się wzorom ogólniejszym, w pewnym zakresie pozostają jednak niezachwianemi.

Naprzykład teoria względności Einsteina zastępuje prawo grawitacji Newtona zespołem skomplikowanych równań: udowadnia jednak Einstein, iż prawo Newtona wynika z jego teorii w pierwszym przybliżeniu i to przybliżenie w wyjątkowych tylko przypadkach staje się niewystarczającym. Nie ulega wątpliwości, że konkretne pojęcia, związane z teorią kwantów i teorią emisji linii widmowych Bohra-Sommerfelda są tymczasowe i muszą ulec zasadniczemu przeobrażeniu, wzory jednak, prowadzące do tak zgodnych z doświadczeniem wyników, prawdopodobnie ostaną się, przyswajając sobie zmienioną treść konkretną.

Tak więc wzory matematyczne fizyki tworzą niezmienny świat idealny, któremu podlega stawanie się w przyrodzie *); każdego uderzy tu analogja ze światem idei Platońskich, niematerjalnych pierwowzorów rzeczy i stosunków świata zmysłowego. Nie napróżno nad wejściem do Akademji Platońskiej widniał pono napis:

μηδεις ἀγεωμέτρητος εἰσέρτω

(→kto nie zna geometrii, niechaj nie wchodzi←).

Byłoby rzeczą nader ważną wykryć nieprzemijające pierwiastki konkretne, które też niewątpliwie istnieją w teoriach fizycznych. Wspomnę o nieciągłości ostatecznej w przyrodzie, wyrażającej się w teoriach atomistycznych,

*) Najwspanialszym przykładem są równania pola elektromagnetycznego Maxwella, obejmujące niemal wszystkie zjawiska elektryczne i magnetyczne.

sko o pierwiastku tego rodzaju. Ta kwestja wymaga-
aby szczegółowego zbadania, o które tu kusić się nie mogę.

Wracając naostatku do zagadnienia o budowie atomu,
podkreślę, że na drodze ku zrozumieniu tej budowy zro-
biliśmy dopiero pierwsze kroki. Właściwie w sposób pra-
wie wyczerpujący została opracowana tylko teoria atomu
wodorowego. Co się zaś tyczy wszystkich innych pierwiast-
ków, to posiadamy szereg interesujących, lecz luźnych
wskazówek i daleko nam jeszcze do wytłumaczenia ich
najważniejszych własności. Pierwsze kroki wszakże by-
wają zazwyczaj najtrudniejsze. Bądź co bądź droga przed
nami długa i nie wiemy, jakie trudności napotkamy, dą-
żąc do celu. Tem większy urok wywierają te śmiałe po-
szukiwania, oskrzydłone nadzieją zdobycia nowych i nie-
zwykłych prawd oraz nieustającego podboju przyrody dla
celów ludzkich.



TREŚĆ

	Str.
1. Wstęp	3
2. Szkic historyczny atomizmu	5
3. Elektryczna teoria materji	11
4. Rozpraszanie cząsteczek α (alpha)	15
5. Budowa atomu według Rutherforda. — Serje widmowe	20
6. Teoria Bohra powstawania widm linjowych	25
7. Zagadnienia naukowo-filozoficzne związane ze współczesną teorią materji	31

