

Wierusz-Kowalski, Józef

Odczyt p. t. "Nowoczesne pojęcia atomistyki", wygłoszony przez członka rzeczywistego Towarzystwa, Józefa Wierusz-Kowalskiego, na posiedzeniu publicznem T. N. W. d. 25 listopada 1917 r.

Rocznik Towarzystwa Naukowego Warszawskiego 10, 148-166

1917

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych oraz w kolekcji mazowieckich czasopism regionalnych mazowsze.hist.pl.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

3.

Odczyt p. t. „Nowoczesne pojęcia atomistyki“,

wygłoszony przez członka rzeczywistego Towarzystwa,

Józefa Wierusz-Kowalskiego,

na posiedzeniu publicznem T. N. W. d. 25 listopada 1917 r.

Marjan Teofil Smoluchowski, syn Wilhelma i Teofili ze Szczepanowskich, siostry niezapomnianego Stanisława Szczepanowskiego, urodził się 28 Maja 1872 r. ukończywszy w Wiedniu w roku 1894 uniwersytet ze stopniem doktora filozofji, poświęcił się dalszym studjom fizykomatematycznym w Paryżu, Glasgowie i Berlinie. Pobyt w Anglii pozostawił niezatarte piętno na twórczości naszego uczonego. Specjalny charakter umysłowości angielskiej, obcowanie z uczonym tej miary jak Lord Kelwin, praca doświadczalna w instytucie Głazgowskim nad zagadnieniami, które wobec przełomu, wytworzonego wówczas przed odkryciem Röntgena i Recquerela, wymagały zupełnie nowych metod, wszystko to wpłynęło na pogłębienie wiedzy młodego uczonego, ale przetworzyło go na znakomicie do dalszych badań przygotowanego i wszechstronnie na zagadki natury patrzącego fizyka. W 1898 r. Smoluchowski habilituje się jako docent fizyki na uniwersytecie wiedeńskim, ale już w roku następnym przenosi się na uniwersytet lwowski gdzie po profesorze Fabjanie obejmuje wykłady fizyki teoretycznej i matematyki. W roku 1900 zostaje mianowany profesorem nadzwyczajnym, a w roku 1903 zwyczajnym, w tymże uniwersytecie. W roku 1913, po śmierci nieodżałowanego ś. p. profesora Witkowskiego zostaje powołany na katedrę fizyki doświadczalnej do uniwersytetu krakowskiego. W roku 1917 zostaje wybrany rektorem uniwersytetu Jagiellońskiego i na tym stanowisku śmierć go nam porwała.

Dorobek naukowy Smoluchowskiego jest olbrzymi. Ogłosił przeszło 60 prac, a większość ich można nazwać przełomowemi.

Obracają się one głównie w sferze kinetycznej teorii materji, a więc są ściśle związane z moim dzisiejszym wykładem i często będę musiał na nich się opierać. Ale jeżeli prace te wystarczają, aby Smoluchowskiemu wyrobić pierwszorzędne miejsce w fizyce współczesnej, to prace nad ogólnemi prawami przyrody, w szczególności nad statystycznym pojmowaniem drugiej zasady termodynamiki, postawiły go w rzędzie tych genialnych twórców, których nazwiska historia nauki wiekopomnie złotemi zgłoskami zapisuje.

Wiek dziewiętnasty zubożył myśl ludzką dwiema ogólnemi zasadami rządzącemi prawami przyrody nieorganicznej. Jest to zasada zachowania energii i zasada zwiększania się entropji. Powstały one na tle teorii termodynamicznych i dla tego znane są pod nazwą pierwszej i drugiej zasady termodynamiki.

Pierwsza zasada wyraża nam, że wielkość fizyczna nazwana energją, a której miarą jest praca mechaniczna, jest stała przy wszystkich zmianach, jakie mogą zachodzić w układzie, do którego z zewnątrz nie wprowadzamy, ale też na zewnątrz nie wyprowadzamy energii. W takim to układzie zamkniętym energia jedynie może się przetwarzać, lecz zawsze energia nowej formy wytworzoną będzie w ilości równoważnej energii przetworzonej. I tak, energia ruchu może się przetworzyć na energję ciepła, energia ciepła na energję elektryczną, ta ostatnia na energję chemiczną i t. d. W żadnym jednakże wypadku nie zostanie stworzona nowa ilość energii, ani też zniszczona istniejąca. Uważając wszechświat fizyczny za układ zamknięty, uczeni XIX wieku wyrażali tę zasadę słowami: energia wszechświata jest stała.

Druga zasada termodynamiki określa nam kierunek zmian zamkniętego układu. Clausius, który pierwszy starał się ją ściśle sformułować, sprowadzał ją do twierdzenia, że ciepło nie może samo przez się przechodzić od ciała zimniejszego do ciała cieplejszego. Przed trzydziestu laty, w chwili gdy zasada ta świeciła może największe swe tryumfy w nauce, uczoney niemiecki Planck określał wielkość nazwaną entropją, jako miarę predylekcji natury dla pewnego stanu fizycznego. W tym znaczeniu zasada ta wymaga, aby w zamkniętym układzie zachodziły jedynie zjawiska, przy któ-

rych entropja układu się zwiększa. Zasada ta jest ściśle związana z pojęciem nieodwracalności zjawisk fizycznych. Pojęcie to, które było niejako dogmatem fizyki XIX wieku, opierało się na spostrzeżeniu, że gdy raz jakakolwiek zmiana zajdzie w naturze, to nie da się nigdy już powrócić całkowicie do pierwotnego stanu. Nawet w wypadkach, w których perjodycznie powracają te same stany, całokształt zjawisk jest nieodwracalny. Wyobraźmy sobie wahadło, które w ciągu swych wahań zakreśla tę samą drogę; zdawałoby się na pierwszy rzut oka, że perjodycznie przebiega on te same stany. Bliższa jednak analiza wykazuje, że część energji ruchu wahadła przechodzi w energję ciepła w skutek tarcia. Ciepło to rozchodzi się w przestrzeni i samo z siebie nie zmieni się z powrotem na energję ruchu wahadła. Wskutek tego wahadło powoli będzie dążyło do stanu spoczynku. W układzie złożonym z wahadła i otaczającej go materji zajdzie zmiana nieodwracalna.

Równocześnie z rozwojem termodynamiki, fizyka starała się sprowadzić wszelkie zjawiska do zjawisk ruchu, a prawa fizyczne do praw mechaniki. Olbrzymi rozwój mechaniki nieba w początkach XIX wieku, zastosowania mechaniki do zjawisk cząsteczkowych przez Laplacea i Gaussa, teoria sprężystości Poissona i inne, dały to przeświadczenie uczonym, że pojmowanie świata zewnętrznego, jako układu materjalnego ciał, a zjawisk, jako ruchu tychże, pozwoli nam w najprostszy sposób znaleźć wytłomaczenie zagadek przyrody. To przeświadczenie wypowiedział w roku 1847 Helmholtz w swej rozprawie „O zachowaniu siły“, mówiąc: „Nakoniec możemy określić zadanie nauki fizycznej, jako sprowadzanie wszystkich zjawisk przyrody do niezmiennych przyciągających lub odpychających sił, w których natężenie jedynie jest zależnem od odległości. Rozwiązanie tego zadania jest warunkiem do zupełnego zrozumienia przyrody“.

Z założeń mechanicznych Helmholtza, można było wyprowadzić jako wniosek, zasadę zachowania energji. Zgodność pomiędzy termodynamiką i teorią mechaniczną zdawała się utrwalona. Jednakże dokładniejsze wniknięcie w drugą zasadę termodynamiki wykazało rozbieżność dwóch teorii. Mechanika nie zna zjawisk nieodwracalnych. Nieodwracalność jest podstawą zasady zwiększania się entropji. W ostatnich dziesiątkach lat zeszłego wieku widzimy wielkich uczonych starających się uzgodnić obie teorie.

Widzimy również wielkich uczonych, odrzucających teorię kinetyczną i zwracających się do czystej termodynamiki, jako jedynie ścisłej teorii, na której spokojnie można budować dalszą naukę.

Boltzmann był niezaprzeczeniem pierwszym, który wskazał drogę, na której trzeba szukać rozwiązania tych trudności, ale naszemu uczonemu zawdzięczamy samo rozwiązanie. W pracach swych nad tem zagadnieniem Smoluchowski jasno wykazuje, że druga zasada termodynamiki nie jest ścisła i dokładnie określa granice, w których zasada ta może być stosowaną.

Termodynamika jest teorią czysto fenomenologiczną. Operuje ona pojęciami i wielkościami, które są bezpośrednio dostępne dla doświadczenia, takimi, jak gęstość, ciśnienie temperatury i t. p. Każda z tych wielkości może być dokładnie zmierzona za pomocą odpowiednich przyrządów. Opierając się na ścisłych pomiarach, możemy znaleźć ściśle związki pomiędzy poszczególnymi wielkościami i użyć tych związków, aby zbudować odpowiednią teorię. Dokładność teorii tego rodzaju będzie szła równoległe z dokładnością pomiarów. W przeciwieństwie budując mechaniczne teorie zjawisk zmuszeni jesteśmy operować na podstawie hipotez. Aby ruchem objaśnić ciepło i pokrewne zjawiska, wprowadzamy do nauki hipotezę kinetyczno-atomistyczną. Przypuszczamy, że wszystkie ciała składają się z nadzwyczaj małych cząsteczek znajdujących się w ciągłym ruchu. Cząsteczek tych i ich ruchów dojrzeć nie możemy, a więc tembardziej nie możemy bezpośrednio zmierzyć ani wielkości, ani ich ilości, ani też ich prędkości. Zbadanie więc bezpośrednio praw ruchu molekuł, lub atomów nie jest dzisiaj możliwym. Jedynie wychodząc z pewnych hipotetycznych założeń, możemy dojść do wniosków, które są dostępne dla doświadczenia. Na pierwszy rzut oka wydałoby się, że teoria termodynamiczna jest doskonalszą i w pewnym znaczeniu prawdziwszą od teorii kinetycznej. Przyjrzyjmy się jednak krytycznie pomiarom wielkości, które określamy właściwości zjawisk w teorii termodynamicznej.

Ażeby zmierzyć, czy to temperaturę, czy to gęstość, czy to jaką inną wielkość fizyczną, jesteśmy zmuszeni użyć przyrządów, mających pewne wymiary, przy tem każdy pomiar wymaga pewnego czasu. Mierzymy więc wielkości tak zwane *makroskopowe*, to jest wielkości odpowiadające pewnej średniej dla danej przestrzeni i danego czasu. Tak naprzykład zmierzyć temperaturę ciała

w pewnym punkcie i w pewnej chwili nie możemy. Mierzymy temperaturę dla przestrzeni odpowiadającej wielkości termometru i dla określonego czasu, odpowiadającemu prędkości, którą termometr przyjmuje temperaturę otoczenia. Pomiary tych wielkości dają nam więc pewne wartości przeciętne i każda teoria fenomenologiczna opiera się na prawach doświadczalnych, wyprowadzonych z tych wartości. Powtarzam więc: dokładność praw teorii zależy od stopnia techniki pomiarów. Prawa tego rodzaju nie są więc niewzruszalne, z postępem pomiarów muszą być wprowadzane poprawki, a teoria fenomenologiczna coraz to dokładniej odzwierciedla zjawiska przyrody. Historia nauki daje nam na to wiele przykładów. Ten charakter makroskopowy teorii termodynamicznej nadaje jej co prawda wielką wartość pragmatyczną, pozwala nam ująć w związki pomiędzy poszczególnymi wielkościami w przejrzyste wzory matematyczne, rozklasyfikować zjawiska w racjonalny sposób i czyni znakomicie zadość zasadzie nazwanej przez Macha ekonomją myślenia, ale niestety rzadko prowadzi do nowych odkryć.

W przeciwieństwie do termodynamiki możemy nazwać teorię kinetyczno-atomistyczną teorią mikroskopową. Operuje ona z mikroskopowym pojęciem molekuł i atomów. Nie są one coprawda bezpośrednio dostępne dla pomiaru doświadczalnego, ale możemy uzmysłwić je sobie i wykonywać z nimi tak zwane doświadczenia myślowe. To zaś często wystarcza, aby nie tylko otrzymać wygodny schemat dla rozklasyfikowania znanych zjawisk, ale również pozwala nam przewidzieć związki przed tym nieoczekiwane.

Wyobraźmy sobie jakieś ciało, w najprostszym wypadku gaz, złożony z ogromnej ilości cząsteczek, znajdujących się w ciągłym ruchu. Cząsteczki mogą być obdarzone najróżnorodniejszymi prędkościami, uderzając się będą zmieniały kierunek ruchu i z punktu widzenia teorii mechanicznej znajomość całkowita zjawisk w takim gazie wymagałaby znajomości tak zwanych parametrów mechanicznych, to jest położenia każdej poszczególniej cząsteczki i posiadanej przez nią prędkości dla każdej chwili czasu. Znajomość jednakże tego rodzaju byłaby jedynie znajomością, jak się wyrażają fizycy, *mikrostanu* danego gazu, a pomiarem doświadczalnym bezpośrednim sprawdzić naszej teorii nie byłibyśmy w możności. W celu doświadczalnego sprawdzenia musimy znaleźć związki po-

między parametrami mikrostanu a parametrami makrostanu (to jest objętością, temperaturą i t. d.). Te ostatnie jedynie są bezpośrednio naszym pomiarom dostępne. Jak to jednak zauważyliśmy, nie są to wielkości indywidualne, jak parametry mikrostanu, lecz pewne przeciętne, odpowiadające pewnej w stosunku do wielkości cząsteczki wielkiej przestrzeni i pewnej stosunkowo również długiej chwili czasu.

Statystyczna metoda opierając się na rachunku prawdopodobieństwa umożliwiła uczonym znalezienie związków pomiędzy temi dwoma rodzajami parametrów.

Jednakże ścisłość obliczeń opartych na rachunku prawdopodobieństwa, wymaga nowych założeń. Rachunek prawdopodobieństwa opiera się na tak zwanym prawie wielkich liczb. Za pomocą rachunku prawdopodobieństwa wyrażamy liczbowo miarę prawdopodobieństwa, że nastąpi pewien przypadek, którego oczekujemy na podstawie danych, umożliwiających nie tylko ten przypadek, ale i inne jemu podobne. Rachunek ten daje więc nam prawa przypadku. Doświadczenie nas uczy, że rzeczywiście tego rodzaju prawa istnieją, ale jedynie jeżeli je opieramy na bardzo wielkiej ilości faktów tego samego rodzaju.

Ciągnąc z talji kart karty czarne lub czerwone niezmiennie wielką ilość razy przekonalibyśmy się, że liczba wyciągniętych czarnych wyrównywa się z liczbą wyciągniętych czerwonych. Tak samo grając w orła i reszkę przy bardzo wielkiej ilości gier partje by się wyrównały. Więcej skomplikowanem byłby rezultat gry dwoma zupełnie jednakowemi jednorodnemi kostkami, przekonalibyśmy się po bardzo długim czasie, że liczba wyrzucona w sumie dwujek jest mniejsza od liczby wyrzuconej w sumie czwórek, a ta ostatnia liczba mniejszą od liczby wyrzuconej w sumie siódemek. Ale również po bardzo wielu doświadczeniach w tym kierunku, skonstatowalibyśmy, że stosunek tych liczb jest bardzo prosty. Gdyby jednakże środek ciężkości jednej z kostek nie był w samym środku sześcianu, przekonalibyśmy się, że liczba odpowiadająca pewnej określonej kombinacji oczek na kostkach przeważałaby wszystkie inne. W tym ostatnim razie padaniem kostek nie powoduje prosty przypadek. Tutaj o prawie rządzącym przypadkiem mówić nie możemy. Widzimy więc, że jeżeli rachunek prawdopodobieństwa możemy stosować do długiego szeregu faktów podob-

nych, to trzeba jeszcze, aby każdy poszczególny fakt był równie możliwy, ażeby nie istniała żadna przyczyna, dająca temu lub owemu faktowi jakąkolwiek predylekcję.

W teorii kinetycznej musimy więc zrobić założenie, że mamy do czynienia nie tylko z wielką ilością molekuł, ale również że molekuly te są obdarzone wszelkimi możliwymi prędkościami, że zajmują wszelkie możliwe położenia w przestrzeni. Ścisłe zostało to scharakteryzowane przez Boetzmanna tak zwaną hipotezą quasi-ergodyczną. Hipotezę tę możemy sformułować w następujący sposób: Z biegiem czasu układ zamknięty, złożony z wielkiej ilości cząsteczek, przebiega wszystkie kinematycznie możliwe mikrostanu, lub też zbliża się prawie zupełnie do nich o ile tylko te stany są w zgodzie z zasadą zachowania energii.

Z tego założenia wypływa wprost tak zwane twierdzenie Poincare-Zermelo, a mianowicie, że po pewnym bardzo długim okresie czasu gaz złożony z takich cząsteczek wróci do zupełnie identycznego mikrostanu. Jednakże czas ten będzie bardzo, bardzo długi.

Na tem miejscu muszę jednakże zrobić pewną uwagę co do uprawnienia stosowalności rachunku prawdopodobieństwa do zjawisk przyrody. Mówiliśmy, że obliczania prawdopodobieństwa danego faktu polegają na założeniu, że szereg faktów rozważanych podlega jedynie przypadkowi. Czyż jednak jesteśmy uprawnieni do założenia, że zjawiskami przyrodniczymi rządzi czysty przypadek? czyż sami w teorii mechanicznej nie robimy wprost przeciwnego założenia przyjmując, że jedynie prawa ruchu rządzą zachowaniem się każdej poszczególniej cząsteczki? Te wątpliwości musimy usunąć, a raczej wyjaśnić w jakim znaczeniu stosujemy prawa przypadku w teoryjach statystycznych przyrody. Najlepiej zrobimy to na przykładzie. Zapytajmy się człowieka, który od dłuższego czasu jest zamknięty w ciemnym pokoju i stracił zupełnie rachunek czasu, czy dzisiaj jest pełnia księżyca czy też nie. Będzie on zgadywał na chybił trafił. Teoretyczne prawdopodobieństwo, dobrej odpowiedzi będzie $1/28$. Jednakże w tym wypadku liczba wyrażająca prawdopodobieństwo, obliczona na podstawie znanego nam prawa o fazach księżyca, nie ma znaczenia praktycznego. Odpowiedź człowieka może być tylko albo dobrą albo złą i możemy ją w każdej chwili sprawdzić. Zapytajmy się teraz dyrektora to-

warzystwa ubezpieczeń na życie, jaką premję ma płacić ubezpieczający się, mający lat 40. Odpowie nam również na podstawie rachunku prawdopodobieństwa, opartego na danych statystycznych i określi ściśle wysokość płacy. Gdyby się teraz znalazł tak genialny lekarz, że mógłby na podstawie swej wiedzy obliczyć na przód, kiedy każdy z ubezpieczonych umrze śmiercią naturalną i popełniłby niedyskrecję uwiadamiając dyrektora towarzystwa ubezpieczeń o tem, to ten jednakże nie miałby powodu do zmiany wysokości składek. Obliczenia statystyczne oparte na wielkiej ilości wypadków są tego rodzaju, że składka oparta na rachunku prawdopodobieństwa wystarcza aby towarzystwo ubezpieczeń mogło wypłacać dywidendy: o to jedynie powinno dyrektorowi chodzić. Jaka jest różnica pomiędzy dwoma wypadkami: Oto, że w pierwszym wypadku prawo przyrodnicze, oparte na doświadczeniu, jest proste i przejrzyste, w drugim zaś, jeżeli takie istnieje, to jest ono z pewnością niezmiernie skomplikowane. Można ogólnie powiedzieć: Im bardziej skomplikowanym prawem zjawisk podlega, tembardziej zbliża się do zjawiska, którymby jedynie czysty przypadek kierował.

Rozważając te zasadnicze podstawy teorii atomistycznej, Smoluchowski znajduje powody niezgodności tej teorii z teorią termodynamiczną. W atomistyce teoretycznie rozciągamy nasze badanie na szereg zjawisk w nieograniczenie długim czasie, odwracalność jest więc teoretycznie możliwa. W teorii termodynamiki formułujemy drugą zasadę dla czasu skończonego i tylko dla takiego czasu może pojęcie nieodwracalności być zdefiniowanym. Daje on porównanie z tym graczem, który może powiedzieć z pewnością, że grając dostatecznie długo na kartę czerwoną i dublując pułę, w końcu wygra. Praktycznie jednakże może przegrać, ponieważ może być zmuszonym wstać od gry przed chwilą, w której szczęście się obróci. Na wykryciu powodów niezgodności dwóch teorii Smoluchowski jednakże nie poprzestał. Badania jego dalsze wykazują, że w pewnych wypadkach nawet w skończonych czasach możemy się spodziewać zjawisk niezgodnych z zasadą termodynamiczną. Zmniejszając czas, musimy zmniejszyć ilość cząsteczek grających rolę w danym zjawisku. Dzięki Perrin'owi i Swedbergowi tego rodzaju przez Smoluchowskiego przepowiedziane i obliczane wahania zostały doświadczalnie zbadane i roz-

strzygnęły na korzyść teorii atomistycznej. Nasuwało się więc zadanie, takiego sformułowania drugiej zasady termodynamicznej, które byłoby bez zarzutu. I to zagadnienie Smoluchowski rozwiązał. Nie chcę na tem miejscu wchodzić w szczegóły, wystarczy powiedzieć, że Smoluchowski wprowadza tak zwaną drugą zasadę z jej dogmatycznego stanowiska do prostej reguły, że się tak wyrażę technicznej, z określonymi granicami, w której może być stosowaną. Reguła ta dla obliczeń praktycznych jest nadzwyczaj użyteczna, jednakże nie wolno nam na jej podstawie budować światopoglądu, jak to czyniło wielu uczonych XIX wieku.

Omawiając prace Smoluchowskiego, mieliśmy sposobność zapoznania się z podstawami teoretycznymi teorii atomistycznej, w moich dalszych rozważaniach nie będę do nich powracał, a jedynie zamierzam z punktu widzenia eksperymentatora postarać się przedstawić, jak fizyk dzisiejszy uzmysławia sobie atomistyczną budowę materji i jakie badania i odkrycia doświadczalne uprawniają go do tego, że uważa swe obrazy za zbliżone do rzeczywistości.

Pierwsze uzasadnienie znajduje teoria atomistyczna w chemji. Prawa Daltona, pojęcie pierwiastku i związku chemicznego dało nam pojęcie drobiny i atomu. Rozwój chemji XIX wieku spopularyzował te pojęcia. Już Dalton wprowadza pojęcie ciężaru molekularnego i atomowego. W r. 1825 Borzelius daje swój układ ciężarów atomowych. Prawo Dulong i Petit podaje związek pomiędzy temi ciężarami, a ciepłem właściwem ciał. Prawa elektrolizy Faradaya potwierdzają hipotezę budowy atomistycznej. Zdobyte na polu chemji organicznej uzmysławiają nam w jaki sposób atomy łączą się w molekuly, a wszystkie te badania utrwalają mniemanie, że atom jest pewną niezniszczalną najmniejszą cząstką materji i trzeba odkryć, zrobionych przez małżonków Curie, aby tym pojęciem zachwiać.

Równocześnie rozwój kinetycznej teorii gazów daje podstawy do atomistycznych zapatrywań na budowę materji. Już w r. 1865 wskazuje Loschmidt jak na podstawie pewnych założeń tej teorii można obliczyć wielkość atomów i cząsteczek. Jednakże fizycy pod wpływem pewnego prądu przesadnie trzeźwego, mało zwracają uwagi na zjawiska molekularne. Trzeba było również odkryć małżonków Curie, Röntgena, Thomsona i innych, aby dać nowy kierunek badaniom doświadczalnym, dzięki którym w ostatnich

dwóch dziesiątkach lat nasze wiadomości o atomach i cząsteczkach znakomicie zostały zbogacone. Dzięki tym badaniom, a w szczególności zgodności ilościowej wyników doświadczeń, musimy, jak to wyraża Smoluchowski, dojść do przekonania, że atomistyka należy do najpewniejszych, albo ściśle mówiąc do najbardziej prawdopodobnych hipotez naukowych.

Istotnie, kto wierzy w to, że głos polega na falowaniu powietrza, kto wierzy w to, że ziemia krąży naokoło słońca, ten z niesłychanie większą jeszcze pewnością może wierzyć w podstawowe pojęcia atomistyki.

Jeżeli mówię tutaj „wierzymy“, to czynię to umyślnie. Udowodnić tego napewno, że ziemia obraca się naokoło słońca nie możemy. Poincaré jasno dowiódł, że gdyby kto tego koniecznie chciał, to mógłby również wierzyć w system Ptolomeusza, musiałby jednakże zmodyfikować wówczas całkowicie naukę nowoczesną. System Kopernika jest prostszym, możemy łatwiej jego konsekwencje uzmysłowić: jako taki jest prawdopodobniejszym. System Ptolomeusza wymagałby takiego skomplikowania nauki, że ekonomja myślenia na tem ucierpiałaby, więc go odrzucamy. Jednakże musimy zdać sobie jasno sprawę z tego, że jeżeli system Kopernika uważamy za prawdziwy, to jedynie dlatego, że łatwość zrozumienia go nakazuje nam weni wierzyć.

Zaznaczyłem to umyślnie, abyśmy raz jeszcze przed tą podróżą w krainę cząsteczek i atomów zdawali sobie sprawę, jak i nauka nowoczesna ją sobie zdaje, że obrazy, któremi uzmysławiamy sobie mechanizm zjawisk przyrody nie mają w sobie charakteru bezwzględnych prawd, ale jedynie są tak dobrane, że możemy powiedzieć: W przyrodzie dzieje się tak jak gdyby obrazy te były prawdziwemi.

W roku 1811 włoski fizyk i filozof Avogadro postanowił następującą zasadę:

Równe objętości różnych gazów zawierają przy tej samej temperaturze i ciśnieniu, równą ilość cząsteczek.

Wystarcza więc obliczyć liczbę cząsteczek pewnego określonego gazu dla pewnych określonych wartości objętości ciśnienia i temperatury, aby móżd powiedzieć, że w tychże warunkach liczba cząsteczek każdego innego gazu będzie identyczną.

Nazywamy liczbą Avogadro, liczbę cząsteczek zawartych w 32 gramach tlenu, przy ciśnieniu jednej atmosfery i temperaturze 0°. Liczbę tę oznaczamy wielką literą N .

Nowoczesna atomistyka dała nam najróżnorodniejsze metody dla znalezienia tej liczby i w zgodności tak otrzymanych cyfr leży jeden z dowodów tej teorii. Przyjrzyjmy się niektórym z tych metod.

Najdawniejsze badania są oparte na zjawiskach lepkości gazów. Doświadczenie uczy, że wskutek wzajemnego oddziaływania cząsteczek dla bardzo wielkich ciśnień prawo Boyle'a i Mariote'a które głosi, że objętość gazu przy stałej temperaturze ma być odwrotnie proporcjonalną do ciśnienia, nie jest ściśle. Uczony holenderski van der Waals objaśnia te odchylenia od prawa Boyle'a i Mariote'a i teoria jego daje nam związek pomiędzy liczbą Avogadra, wielkością cząsteczek i temi odchyleniami.

Wielkość cząsteczek można zmierzyć na podstawie teorii atomistycznej z tak zwanych zjawisk lepkości. Zwykle nie zwracamy w gazach uwagi na tę właściwość i rzeczywiście najwięcej lepki gaz będzie wiele razy mniej lepkiem od płynów. Jednakże lepkość istnieje. Ona to jest powodem tarcia, jakie wywiera powietrze na ruch wahadła, ona to powoduje, że przepływ różnych gazów przez cienką rurkę z różną odbywa się szybkością.

Związek van der Waals'a pozwala nam obliczyć liczbę N . Perrin wykonał ten rachunek dla argonu, gazu, którego cząsteczka składa się z jednego atomu i otrzymał wartość

$$N = 62.10^{22}.$$

Liczba ta jest olbrzymią. Trzebaby, jak widzimy, 20 miliardów takich cząstek, aby ważyły one jedną miliardową część miligrama.

W 1827 roku botanik angielski Robert Brown odkrył dziwne ruchy pyłków zawieszonych w płynach. Przy badaniu nad zapłodnieniem roślin, zawiesił on pyłki *Clarchii pulchelli* w wodzie, obserwował je pod mikroskopem i zauważył, że poruszają się one z żywością nieregularnymi ruchami. Brown objaśniał to szczególną właściwością niektórych cząstek, które nazwał czynnymi.

Wiener w 1863 r. wykazał, że nie można objaśnić tych ruchów prądami w płynie, ale zdaje się, że po raz pierwszy francuski uczony Delsaulx w r. 1877 jasno wyraża myśl, że ruchy Browna

są następstwem ruchów cząsteczkowych płynu. Mówi on: „Quand aux mouvements browniens des particules solides et des granulations des liquides visqueux, ils seraient dans ma manière de considerer le phénomène, le resultat des mouvements moléculaires calorifiques du liquide ambiant“.

W 1881 r. bada Bodaszewski ruchy Browna w gazach. I on zwraca uwagę na to, że ruchy te wykazują coś pokrewnego do hipotetycznych ruchów molekuł gazowych.

Ale zaledwie po udoskonaleniu metod obserwacji przez wprowadzenie ultramikroskopu, rozważania teoretyczne Einsteina w 1905 r., a Smoluchowskiego w 1906 r. pozwoliły zużytkować doświadczenia nad temi ruchami do obliczenia liczby Avogadro.

Perrin i jego uczniowie Dąbrowski, Chaudsaigues i inni, jak również Svedberg wykonali różnemi metodami pomiary ruchu Browna i otrzymali dane, na podstawie których można było obliczyć liczbę N z tych pomiarów, jako średnia wypada:

$$N = 67.7 \cdot 10^{22}$$

a więc liczba prawie równa liczbie przedtem znalezionej.

Lord Raleigh wykazał, że kolor niebieski nieba, da się objaśnić przez rozpraszanie światła przez cząsteczki powietrza. Wykazał on, że światło pewnej barwy jest tym więcej rozproszone, im długość fali odpowiadająca barwie jest mniejszą. Ponieważ światło białe składa się z barw różnej długości fali, przyczem czerwone i pomarańczowe odpowiada najdłuższej, a niebieskie i fioletowe najkrótszej długości fali, więc światło niebieskie i fioletowe jest więcej rozproszonem i wskutek tego niebo wydaje się nam niebieskiem. Obliczenia Raleigha wprowadzają do formuł liczbę Λ i wobec tego badania rozproszenia światła w gazach dają nam wartość liczby Avogadro. Wielu uczonych tego rodzaju badaniami się zajmowało. Na rok przed śmiercią ogłosił Smoluchowski swe pomiary w tym kierunku.

Liczba N tak otrzymana waha się pomiędzy

$$N = 60 \cdot 10^{22} \text{ a } N = 65 \cdot 10^{22},$$

a więc znów doskonała zgodność.

Na zupełnie innych podstawach opierają się obliczenia liczby N z promieniowania tak zwanych ciał czarnych. Pojęcie ciała czarnego zostało wprowadzone przez Kirchhoffa przy badaniu tak zwanego promieniowania temperaturowego. Możnaby zdefiniować to

promieniowanie, jako takie, które powstaje jedynie na koszt podniesienia ciała do wyższej temperatury, bliższa jednakże analiza wykazuje, że tego rodzaju definicja nie byłaby ścisłą. Podwyższenie temperatury może spowodować pewne drugorzędne zjawiska, te zaś mogą być przyczyną promieniowania. Gdybyśmy w inny sposób jak przez podniesienie temperatury spowodowali też same drugorzędne zjawiska, moglibyśmy również obserwować takież promieniowanie. Ażeby ściśle określić promieniowanie temperaturowe musimy powiedzieć słów parę o prawie Kirchhoffa.

Każde ciało promieniując wysyła w przestrzeń pewną energję, równocześnie jednakże ciało pochłania pewną energję, którą mu dosyłają ciała je otaczające. Miarą wysyłanej energii jest tak zwana zdolność emisyjna ciała, miarą pochłanianej—zdolność absorbcyjna.

Prawo Kirchhoffa, które równocześnie można uważać jako określenie idealnie temperaturowego promieniowania, powiada: „Jeżeli mamy do czynienia z promieniowaniem temperaturowym, to stosunek zdolności emisyjnej do zdolności absorbcyjnej zależy jedynie od natury ośrodka, od jego temperatury bezwzględnej i od wyboru długości fali promieniowania“. Ciało dla którego stosunek ten równałby się jednostce, nazywamy „ciałem bezwzględnie czarnym“, a promieniowanie „czarnym“. Dla takiego więc ciała, emisja energii przez promieniowanie jest funkcją dwóch zmiennych: temperatury i długości fali.

Jest rzeczą zrozumiałą, że uczeni badacze starali się funkcję odkryć czy to doświadczalnie, czy to teoretycznie. W r. 1899 Lummer i Pringsheim zmierzili rozkład energii promieniowania ciała czarnego w funkcji długości fali dla różnych temperatur, aż do temperatury 1600°. Planckowi zawdzięczamy formułę teoretyczną, która bardzo dobrze się zgadza z doświadczeniami Lummera i Pringsheima. Ażeby jednakże formułę tę wyprowadzić, jest on zmuszony przyjąć, że energia promieniowania może być wysyłaną lub absorbowaną jedynie w sposób nie ciągły, pewnymi skończonymi kwantami energii.

Wprowadzamy więc w tej teorii poniekąd pojęcia atomu energii, który nazywamy „quantem“.

Zrozumiałem jest, że wobec tego rodzaju założeń do matematycznego wzoru Plancka wchodzi liczba Avogadro. Z pomiarów promieniowania ciała czarnego możemy tę liczbę określić. Wartość tak otrzymana równa się:

$$N = 64.10^{22}.$$

Umysł ludzki jest zadziwiony, gdy widzi jaka zgodność panuje w tak różnych dziedzinach zjawisk przyrody, a raczej jak owocnym okazało się wprowadzenie pojęć atomistycznych do nauki.

Jednakże nie poruszyłem dotychczas metod, pozwalających w najdokładniejszy sposób zmierzyć liczbę Avogadro. Są to metody elektryczne i nie będziemy się dziwili ich dokładności, jeżeli sobie przypomnimy, że metody elektryczne i radiologiczne pozwalają nam badać indywidualne elementarne naboje elektryczne, a więc możemy nimi badać wielkości wiele, wiele razy mniejsze, jak te, które są dostępne innym metodom.

Czas nie pozwala się dłużej nad nimi rozwodzić, w rozprawce Smoluchowskiego w „Wiadomościach matematycznych“ z 1913 roku można znaleźć bardzo wiele interesujących szczegółów w tym kierunku, dziś zaznaczę tylko, że i temi metodami otrzymana liczba N jest zgodną z dawnymi pomiarami i wynosi

$$N = 59.10^{22}$$

Odkrycie radioaktywności przez małżonków Curie, jak to już mówiłem, stworzyło erę w pojęciach naszych o atomie. Przedtem uczeni uważali za dogmat niepodzielność atomu, po odkryciu własności promieniotwórczych została się z niepodzielności atomowi tylko nazwa.

Wiemy dzisiaj, że atomy pierwiastków radioaktywnych wysyłają różne rodzaje promieni, z tych promienie γ są naturą zbliżone do światła i promieni Röntgena, promienie zaś α i β mają charakter materjalny.

Promienie β są złożone z cząstek przynajmniej 1800 razy mniejszych od atomu wodoru i są tem co dziś nazywamy atomami elektryczności ujemnej, czyli elektronami. Jeżeli na podstawie liczby Avogadro obliczymy masę cząsteczki wodoru, to otrzymamy nadzwyczaj małą wartość, a mianowicie

$$1,6 \cdot 10^{-24} \text{ grama.}$$

Masa więc elektronu jest prawie jeszcze dwa tysiące razy mniejszą. Dokładne pomiary wykazały jednak, że masa elektronu

zależy od prędkości jego ruchu i gdyby ta prędkość osiągnęła prędkość światła, to masa elektronu byłaby nieskończenie wielką. Tutaj mamy, że tak rzekę, most pomiędzy teorią mechaniczną, a teorią elektrodynamiczną. Już teraz możemy powiedzieć, że dawne teorie kinetyczne będą w przyszłości tylko szczególnymi przypadkami ogólniejszej teorii elektroniki. Dzisiaj teoria ta jest po prostu programem, ale ogrom zadań, który ją czeka, wzbudza zapał uczonemu do opracowania nowych metod teoretycznych i doświadczalnych. Na pojęciach elektroniki opierają się nowe zaprawy na wewnętrzną budowę atomu. Atom, niedziadka przed 1896 r. jest dzisiaj dla nas całym światem, którego zbadanie jest jednym z najciekawszych celów nowoczesnej fizyki. Na cały szereg zjawisk, jak to na zjawiska spektralne, magnetyczne i inne patrzymy się dzisiaj w zupełnie inny sposób, aniżeli wtedy, gdy dogmatem nauki była niepodzielność atomu.

Jednym z piękniejszych zjawisk przyrody jest widmo świetlne wysyłane przez ciała świecące. Szczególniej widmo gazów elementarnych, złożone z nieciągłych linii i prążków, charakterystycznych dla każdego pierwiastka, przedstawia właściwości, które przez czas długi nie mogły być ujęte w żadne prawo. I tak wodór w widzialnej części widma wysyła różnokolorowe linie o określonej długości fali, odpowiadającej określonej liczbie drgań świetlnych.

Balmer (1884) był pierwszym, który pomiędzy liczbami drgań w widmie wodoru znalazł związek numeryczny. Po nim wielu uczonych zajmowało się analogicznymi zagadnieniami; znaleziono, że w widmach wielu ciał można odnaleźć szeregi linii, których liczby drgań odpowiadają pewnym empirycznym prawom.

Deslandres znajduje w 1885 r., że podobne liczbowe związki można znaleźć dla prążków widma, par i gazów świecących pod wpływem wyładowań elektrycznych, a mnie samemu udaje się to wykazać w r. 1909 dla prążków widma ciał fosforyzujących w bardzo niskiej temperaturze. Ale szczególnie widma linjowe pierwiastków przedstawiają prawidłową strukturę. Rydberg wykazuje, że do wzoru, z którego oblicza się liczbę drgań, należąca do szeregu widmowego, wchodzi pewna liczba niezależna od natury pierwiastku.

Ta stała uniwersalna ma wartość 109675. Nazwałem tę liczbę kiedyś dawniej numerem telefonicznym atomu, liczbę zapomocą której kiedyś dowiemy się, co się dzieje wewnątrz atomu. I rzeczywiście: ilość różnorodnych linii widma, prawidłowość ich układu, pewien związek między linjami widma różnych pierwiastków, wszystko to dawało do myślenia, że atom, który jest tem źródłem wysyłającym światło charakterystyczne dla każdego pierwiastku, nie jest czemś bardzo prostem, jak to dawniej myśleli uczeni, ale czemś nadzwyczaj złożonym, mającym jednak prawidłową strukturę.

Odkrycie promieniotwórczości i szczególniejsze badania tej nowej własności pewnych rodzajów materji ten pogląd zupełnie potwierdziły. Rozpadanie się atomów ciał promieniotwórczych, wyrzucanie z siebie cząsteczek β -elektronów i cząsteczek α -atomów naładowanych dodatnio było dowodem nie tylko złożonej natury atomu, ale również pozwoliło dojść do poznania własności cząsteczek α i β . Skonstatowano, że elektron jest to rzeczywiście nabój elektryczny ujemny, to jak już zaznaczyliśmy atom ujemnej elektryczności. W żadnym jednak wypadku, pomimo wspaniałych badań J. J. Thomsona w tym kierunku, nie można było odkryć atomu elektryczności dodatniej, ta ostatnia zawsze występowała jako nabój dodatni pewnej cząsteczki materjalnej i zawsze z nią związana. Skonstatowano również, że cząsteczki α są to cząsteczki helu naładowane dodatnio dwoma ładunkami elementarnymi. Pierwiastek uran przetwarzając się przez szereg zmian promieniotwórczych w ionium i rad, przy takiej przemianie wyrzuca z siebie osiem atomów helu. Musimy więc atomowi tego pierwiastka nadać strukturę bardzo skomplikowaną. Uczeni starali się wynaleźć układ elektronów i cząstek naładowanych dodatnio, któreby zdały sprawę z własności atomów.

Jednym z takich obrazów był schematyczny atom J. J. Thomsona. Uczony ten przypuszcza, że nabój dodatni elektryczności znajduje się równomiernie rozdzielony na powierzchni kuli, której rozmiary odpowiadają wielkości atomu, a więc kuli o promieniu nie większym od $2 \cdot 10^8$ cm. (dwóch stumiljonowych).

J. J. Thomson zakłada dalej, że wewnątrz tej kuli znajdują się elektrony, w sposób prawidłowy rozmieszczone. Naturalnie, ponieważ atom zwykły jest neutralnym elektrycznie, więc musimy

założyć, że liczba elektronów neutralizuje zewnętrzny ładunek dodatni. Pomysł Thomsona zdawał się nadawać znakomicie do rozwiązania zagadnień, połączonych z budową atomu, niestety doświadczenie wykazało, że nie może on zdać sprawy z pewnych właściwości, których odkrycie zawdzięczamy znakomitemu uczonemu angielskiemu Rutherfordowi i jego uczniom. Badali oni przejście cząsteczek β przez materję. Znaleźli przytem, że odchylenia od prostej drogi, którym część cząsteczek podlega, jest tak wielkie, że można je jedynie wyjaśnić, jeżeli przyjmemy, że przechodzą one obok bardzo silnego na bardzo małej powierzchni skoncentrowanego naboju dodatniego. Promień atomowej kuli J. J. Thomsona jest o wiele za wielki, aby nabój rozmieszczony na jej powierzchni był dostatecznie skoncentrowanym dla spowodowania zamierzonych odchyień. Ażeby objaśnić tego rodzaju zachowanie się atomów ciał, Rutherford proponuje inny model atomu.

Nabój dodatni jest rozmieszczony na cząstce materjalnej mającej niezmiernie małe wymiary, mającej przybliżenie tysiąc razy mniejszy promień od promienia kuli Thomsona. Na około tego jądra krążą elektrony ujemne, naturalnie liczba ich musi być również taką, aby zneutralizować nabój dodatni jądra.

Bohm podjął myśl Rutherforda, rozwinął ją i wykazał jak możemy sobie uprzytomnić wysyłanie światła przez tego rodzaju model. Stając na gruncie teorii promieniowania Plancka, a więc używając pojęcia kwantów, Bohr teoretycznie uzasadnia wartość liczby 109675 i objaśnia powstawanie szeregu widmowego w wodorze. Model Bohra pozostawia wiele do życzenia z punktu widzenia czystej teorii, jednakże ma pewną wartość heurystyczną. Na podstawie tego modelu Sommerfeld i Eppstein tłumaczą wpływ pola elektrycznego na widmo wodoru, jak również tak zwane widma Röntgenowskie pierwiastków.

Mamy tutaj przykład bardzo udatnej próby wyjaśnienia sobie tego, co się wewnątrz atomu dzieje. Jednakże największe znaczenie miał pomysł Rutherforda dla objaśnienia zależności własności ciał od ciężaru atomowego.

Uogólniając przypuszczenie, oparte na pewnych pomiarach radjoktywnych Van der Broeck zakłada, że jądra pierwiastków posiadają naboje elektryczne, proporcjonalne do ich numeru porząd-

kowego, który otrzymamy, jeżeli wszystkie pierwiastki ułożymy w szereg podług wzrastających ciężarów atomowych. I tak wodór będzie posiadał wówczas jeden elementarny nabój, hel 2, węgiel 6, tlen 8 i t. d. Założenie tego rodzaju jest bardzo proste i pozwoliło rozwinąć Bohrowi swą teorię. Ale prawdziwy tryumf przyniosły tej hipotezie pomiary widm Röntgenowskich przez młodego uczonego angielskiego Moseleya, który w kilka miesięcy po tym dla nauki tak ważnym odkryciu zginął na polu wojny. Moseley zastosował do badania widma Röntgenowskiego odkrycie Laue'go, które wykazuje, że promienie X , przechodząc przez kryształ, podlegają dyfrakcji. Stosując metodę refleksyjną Bragga porobił on pomiary długości fali promieni X wysyłanych przez różne pierwiastki. Znajduje on, że liczba drgań, odpowiadająca promieniowaniu danego pierwiastku, jest bardzo prostą funkcją liczby naboju jądra atomu pierwiastka podług założeń Van der Broeka, a więc liczby porządkowej atomu. Pomiary Moseleya dają nam podstawę do nowej analizy chemicznej, która może kiedyś dać nam rezultaty dające się porównać z wynikami zwykłej analizy widmowej. Już teraz udało się Moseleyowi wykazać, że pomiędzy aluminium i złotem powinny istnieć trzy nieznanne pierwiastki. Jeden z tych pierwiastków powinien leżeć pomiędzy praseodymem i neodymem. Otóż w ciągu pracy wykonanej wspólnie z moim uczniem p. Garnier we Fryburgu, nad własnościami fosforescencyjnymi neodymu, otrzymałem w widmie absorbcyjnym niektórych frakcji krystalizacji soli organicznych neodymu nadzwyczaj słaby prążek absorbcyjny o przybliżonej długości fali 444 $\mu\mu$. Prążek ten nie jest znany ani dla neodymu, ani też dla praseodymu, musimy go więc przypisać nowemu nieznanemu ciału przepowiedzianemu przez Moseleya. Z założeń Rutherforda i Van der Broeka wpływa również bardzo ważne pojęcie izotopji pierwiastków, pojęcie, które doprowadziło młodego uczonego polskiego Fajansa do bardzo ciekawych wyników i odkryć w dziedzinie chemji ciał promieniotwórczych.

Model atomu Rutherforda wykazuje, że ciężar atomowy będzie miał wartość, która w dosyć zawiły sposób zależy od budowy jądra, własności zaś chemiczne atomu będą jedynie zależeć od naboju tegoż jądra. Możemy więc sobie wyobrazić dwa pierwiastki, mające zupełnie te same własności fizyczne i chemiczne, których

ciężar atomowy nie jest identyczny. Takie pierwiastki nazywamy *izotopami*.

Fajans znalazł pomiędzy ciałami promieniotwórczemi cały szereg przykładów izotopów. Jeszcze niedawno Rutherford wspólnie ze swym uczniem Andrade znalazł, że widmo Röntgerowskie radu *B* jest identyczne z widmem Röntgerowskim ołowiu, gdy tymczasem ciężar atomowy radu *B* jest przybliżenie równy 214, a ołowiu 207.

Rezultat ten doświadczalny wykazuje, że jeżeli charakter ogólny atomistyki pozostał jeszcze ten sam, to jednakże pojęcie atomu niesłychanie się zmieniło.

Widzimy nawet z ostatnich rozważań, że czysto mechaniczne założenia atomizmu już nam nie wystarczają. Elektrodynamiczne pojmowanie zjawisk fizycznych, zasada względności wprowadzona do nauki przez Emsteina, Minkowskiego Lorentza i innych, hipoteza kwantów Plancka i t. p. zaczynają zmieniać nasze zasadnicze założenia teorii atomistycznej. Już teraz z dawnej teorii pozostało tak mało, że ci, którzy są pohopni do dogmatycznego pojmowania nauki z łatwością o jej bankructwie mówią. Zapominają jednakże, że każda teoria naukowa, nie mając w sobie nic absolutnego, jednakże jest tą nicią przewodnią, która nas chroni od zgubienia drogi w labiryncie zjawisk i której zawdzięczamy odkrycie wielu nowych a ciekawych faktów. Zapominają, że każda teoria jest tym przyrządem myślowym, który obok przyrządów laboratoryjnych służy nam znakomicie w naszych badaniach. Ale tak jak odrzucamy stary przyrząd, który już nie może być ulepszonym i zastępujemy go nowym, zbudowanym często na nowej zasadzie, ale dokładniejszym od dawnego, tak nie powinniśmy się również przywiązywać do żadnej teorii, lecz z rozwojem nauki doświadczalnej ulepszać ją lub nawet opierać na zupełnie nowych podstawach. Tego rodzaju sprowadzenie teorii fizycznej do jej rzeczywistej pragmatycznej wartości, mogłoby coprawda działać deprymująco na umysł uczonego, gdyby tenże poza nieudolnemi obrazami, które buduje dla uzmysłowienia sobie wewnętrznej natury zjawisk, nie miał równocześnie istniejącego odczucia tych ukrytych związków w przyrodzie, tych praw ładu i porządku, tej Wszechmądrej Woli, kierującej wszelkimi zjawiskami, tego odczucia, które pozwala umysłowi ludzkiemu wnikać w głąb zagadek przyrody, odkrywać nowe fakty, rozszerzać granice poznania.
