

stanowi treść nauki. Kto widział kiedyś kawał drzewa skamieniałego, zrozumie to odrazu. W drzewie skamieniałym niema ani śladu pierwotnej substancji drzewnej, wszystko zostało zastąpione przez krzemionkę, ale włókna drewna, cała jego struktura, pozostała nietknięta, tak że na pierwszy rzut oka robi wrażenie zwykłego drewna. Forma pozostała, choć treść zmieniła się. Tak samo trwała w historii nauki jest forma praw przyrody.

Pozwolę sobie uczynić na koniec jedną uwagę. Często nas fizyków pytają: czy wierzycie naprawdę w istnienie atomów i elektronów? Jest-że to istotnie pewne, że wszystko, co widzimy, składa się z tych bezustannie poruszających się cząstek, których rozmiary i prędkości nam podajecie? Odpowiedź stosuję do tego, czy pyta mnie filozof, czy też ktoś inny. Filozofowi odpowiadam: bynajmniej! tylko udaję, że sądzę, iż istnienie atomów jest pewne; ta hipoteza jest mi wygodna. Istotnie dzisiaj trzeba być wielce ostrożnym, zanim się coś poda za pewne. O wszystkim wolno wątpić. Że ziemia porusza się koło słońca, niepodobna tego udowodnić, mimo Kopernika. Kto koniecznie pragnie, może i dzisiaj wierzyć w systemat Ptolemeusza, musi tylko w odpowiedni sposób zmodyfikować konsekwentnie obecną naukę, jak to np. Poincaré wykazuje. Nie będzie to ani łatwe, ani ładne, ale może być dokonane. Co więcej, kto chce, temu wolno wątpić, czy wogóle istnieje słońce, czy istnieje rzeczywiście świat zewnętrzny. Udowodnić tego nie można; albo przynajmniej nie jestem pewny, czy ci, którzy tego dowodzą, myślą się. Cóż dopiero mówić o realności atomów!

Ala z niefilozofem będziemy rozmawiali całkiem inaczej. Jemu powiemy, że atomistyka należy do najpewniejszych albo, ściślej mówiąc, do najbardziej prawdopodobnych hipotez naukowych. Kto wierzy, że głos polega na falowaniu powietrza, że ziemia krąży koło słońca, ten z niesłychanie większą jeszcze pewnością może wierzyć w podstawowe pojęcia atomistyki. Wolno nam też wierzyć, że fizyka, krocząc drogą dzisiaj obraną, zamieni się w logiczny systemat dzięki atomistyce, której podstawy niegdyś pożyczyła od chemii; odda jej wzamian myśli konstrukcyjne, które będą kluczem do zrozumienia chaosu zjawisk chemicznych. Tym sposobem nauki ściśle dojdą do wspólnałej syntezy, nie będącej oczywiście ostatecznym końcem dociekań, ale olbrzymim krokiem naprzód w poznaniu zjawisk przyrody.

III. ATOMISTYKA WSPÓŁCZESNA.

Odczyt wygłoszony na posiedzeniu ogólnem XI-go Zjazdu Lekarzy i Przyrodników Polskich w Krakowie. — Księga Pamiątkowa XI-go Zjazdu Lekarzy i Przyrodników Polskich w Krakowie, 18—22 lipca 1911; str. 129—143.

Chcąc dać obraz atomistyki współczesnej, trzeba by przedstawić niemal całą fizykę i chemję, a po części i mineralogję. W krótkim referacie wypada zatem ograniczyć się do skreślenia kilku głównych myśli przewodnich, mogących posłużyć do uporządkowania olbrzymiego materiału, a tylko pobieżnie poruszać można kwestję specjalne, jakkolwiek zajmujące i ważne.

Atomistykę podzielić można przedewszystkiem na atomistykę materji i atomistykę elektryczności (czyli „elektronikę“). Może być, że z czasem zniknie ten podział. Wszak wiadomo, że obecnie panuje dążność wytłumaczenia właściwości charakterystycznej materji, t. j. bezwładności, jako objawu sił elektrycznych. Doświadczenia Kaufmanna, Bucherera i Hupki nad uginaniem promieni β dowiodły, że przynajmniej znaczna część masy materjalnej elektronów jest pochodzenia elektrycznego. Wierzmy, że masa owych elektronów nie tylko częściowo, ale w całości jest tylko pozorna, jest wytworem sił elektrycznych. Ale sądzimy tak raczej z powodu skłonności umysłu naszego do monizmu, niż z przyczyn konkretnych; albo, wyrażając się ściślej, sądzimy tak dlatego, że obraz świata fizycznego upraszcza się nadzwyczajnie, jeżeli nie potrzeba przyjmować dwóch odrębnych rodzajów zjawisk: materjalnych i elektrycznych, lecz wszystko sprowadzać można do jednej substancji zasadniczej: elektryczności. Co prawda, i tak jeszcze daleko do jednności, gdyż obecnie jeszcze dwa zasadniczo różne rodzaje elektryczności przyjąć trzeba: ujemny i dodatni. Ujemne elektrony dobrze znamy, ale wiele mniej wiemy o dodatnich. Nie zdołano

jeszcze skonstatować obecności cząstek dodatnich bez połączenia z masami atomowymi, tak że wciąż jeszcze tylko tyle powiedzieć można: najmniejszą cząstką dodatnio elektryczną jest atom (wodoru?) pozbawiony jednego ujemnego elektronu.

Bez względu na te spekulacje stwierdzić można, że pojęcie materji zatrzyma i nadal swoją wartość i swój obręb zastosowania, tak samo jak pojęcie światła nie stało się zbędne mimo teorii elektromagnetycznej; metody badań w obu działach są tak różne, że podział atomistyki na atomistykę materji i elektronikę pozostanie usprawiedliwiony. Nadto istnieje od kilku lat jeszcze trzeci dział, który dzisiaj jeszcze nie daje się połączyć z resztą fizyki, t. j. atomistyka energii — ale w te kwestje wchodzić nie będziemy.

W każdym z owych dwóch działów, w atomistyce materjalnej i w elektronice, rozróżnić znów można zjawiska związane z pojęciami atomistycznymi i dowodzące słuszności atomistyki w sposób jakościowy, albo też ilościowy. Pierwszego rodzaju zjawiska są takie, których zrozumienie wymaga przyjęcia struktury, złożoności materji i elektryczności z oddzielnych jednostek, cząstek, ale bez względu na wymiary i liczbę tych cząstek, tak że odwrotnie zjawiska takie nie dają klucza do wnioskowania o wymiarach lub liczbie cząsteczek składowych, podczas gdy zjawiska drugiego rodzaju zależne są od tych wielkości.

1) Do pierwszej kategorii należą przedewszystkiem zmiany stanów skupienia, które stanowiły historycznie pierwszy argument uzasadniony za przyjęciem hipotezy atomistycznej. Że chemicznie ta sama substancja występować może w trzech różnych stanach skupienia (w tych samych warunkach temperatury i ciśnienia), trudno inaczej sobie wytłumaczyć jak przypuszczeniem, że jej cząsteczki składowe są niezienne, lecz w tych trzech przypadkach znajdują się w odmiennych warunkach układu i ruchu. Nawiasem wspominając, wypada nam dzisiaj zreformować tradycyjne rozróżnienie stanów: gazowego, ciekłego i stałego. Między gazowym a ciekłym stanem istnieje przejście ciągłe (powyżej temperatury krytycznej) i wogóle niema różnicy zasadniczej z wyjątkiem zjawisk powierzchniowych; dalszym ciągiem tych przejść ciągłych stopniowych są ciała stałe amorficzne, bezpostaciowe. Są to po prostu ciecze, zazwyczaj w stanie podchłodzonej, o wielkim tarciu wewnętrznym, a zatem wielkiej sprężystości postaciowej, o cząsteczkach nie regularnie, przypadkowo rozmieszczonych. Natomiast zasadniczo

różny jest stan krystaliczny, o regularnym uporządkowanym układzie cząsteczek. Właściwie wypada nam zatem rozróżnić dwa stany skupienia: bezpostaciowy (z włączeniem cieczy i gazów) oraz stan krystaliczny, ale właściwie tyle modyfikacji krystalicznych, ile dana substancja wytworzyć potrafi.

2) W związku z tem wymieniamy na drugim miejscu, w rzędzie zjawisk pierwszej grupy, naczelne prawo krystalografji: prawo wymiennych wskaźników. Prawo to, z którego Bravais, Sohncke, Schönflies i inni wyprowadzili teorie siatek przestrzennych, regularnych zbiorowisk punktów i t. d., byłoby niepojęte i niezrozumiałe, gdyby kryształy nie składały się z drobnych, jednakowych i regularnie ustawionych cząstek składowych

Cząstki składowe zwykle nazywa się w krystalografji cząsteczkami (Kristallmoleküle), ale trzeba wystrzegać się łączenia błędnych pojęć z tem słowem. Pojęcie cząsteczek jest ściśle określone dla stanu gazowo-ciekłego, gdyż tutaj cząsteczki prowadzą żywot niezależny; tylko w obrębie tego stanu mamy metody określania ciężaru cząsteczkowego. W ciałach stałych (a raczej krystalicznych) nie potrafimy wyznaczyć ciężaru cząsteczkowego: metody kryoskopijne dla alajzów, amalgamów i t. d. dają wielkość tę dla cieczy, ale nie dla ciała stałego. Zdaje się wogóle, że w tym stanie cząsteczki nie są jednostkami całkiem odrębnymi, wzajemnie niezależnymi, i że układ krystalograficzny wpływa wybitnie na właściwości nie tylko fizyczne, ale i chemiczne. Czy zatem pojęcie cząsteczki może być przeniesione do stanu skupienia stało-krystalicznego, jak w tym stanie określić to pojęcie, jak wyznaczyć ciężar cząsteczkowy, czy np. odmienne właściwości fosforu żółtego i czerwonego pochodzą z odmiennego składu cząsteczek czy z odmiennego układu krystalograficznego — są to fundamentalne kwestje, na które jeszcze nie potrafimy dać wyczerpującej odpowiedzi, gdyż wogóle wiadomości nasze w dziedzinie fizyki i chemji ciał krystalicznych są jeszcze bardzo niedostateczne.

3) Najdobitniejszy argument za atomistyką tworzą zjawiska chemiczne, mianowicie zasadnicze prawo chemji — prawo wielokrotnych stosunków, dzięki któremu też Dalton stał się właściwym twórcą nowoczesnej atomistyki. Mówi się niekiedy, że prawo to jest dowodem atomistycznej struktury materji. To oczywiście, dosłownie biorąc, nie jest słuszne, wszak Ostwald potrafił napisać podręcznik chemji bez przypuszczenia atomów, nie może więc być mowy o do-

wodzie, o konieczności logicznej. Zdaje mi się, że właściwe „dowody“ istnieją tylko w matematyce i logice, a w naukach przyrodniczych można tylko mówić o prawdopodobieństwie twierdzenia, o użyteczności teorii, choć to prawdopodobieństwo może niekiedy być tak wielkie, że w praktyce wolno prowizorycznie mówić o pewności i konieczności. Tylko w tem znaczeniu, dla krótkości, będziemy używali wyrażenia „dowód“.

Z prawem wielokrotnych stosunków łączą się inne prawa chemiczne, które również umacniają założenia teorii o budowie atomistycznej materji, jak np. prawa co do liczby możliwych izomerów, jak cały zakres zjawisk objętych przez stereochemję. Kto, jak np. Mach, wobec takich zjawisk odrzuca tłumaczenie atomistyczne i ogranicza się do skonstatowania nagich faktów, popełnia podobne „sacrificium intellectus“ jak ten, kto odrzuca teorię ewolucji świata organicznego.

Dotychczas była mowa o jakościowych dowodach atomistyki materialnej. Stąd przechodzimy odrazu do atomistyki elektrycznej zapomocą praw elektrolizy. Już Helmholtz (w r. 1881) rzucił myśl, że elektryczność posiada może strukturę atomistyczną, ponieważ w elektrolizie każdy jednowartościowy ion jakiejkolwiek substancji transportuje jednakowy ładunek. Dwuwartościowy — dwukrotnie, trójwartościowy — trzykrotnie i t. d.; obecności naboju ułamkowych skonstatować nigdy nie można. Jest to poprostu znowu prawo wielokrotnych stosunków Daltona, tylko rozszerzone do elektryczności, w formie nieco odmiennej i o tyle prostszej, że liczba n określająca wielokrotność stosunku, w jakim elektrony wiążą się z atomami, może być tylko: 1, 2, 3, 4. Większej wartościowości nie spotykamy w elektrochemji.

Podkreślam jeszcze raz wspólną cechę dotychczas omawianych zjawisk: stanowią one jakościowe dowody atomistyki i elektroniki, ale same przez się nie dają wskazówek co do wielkości atomów. Pokazuje się to najoczywściej w tem, że w obrębie klasycznej chemji nie występuje nigdzie pojęcie bezwzględnego ciężaru atomowego, chodzi tylko o względne ciężary atomowe, np. względem wodoru czy tlenu. Nie przeszkadzałoby nam, żeby przyjąć atomy dowolnie małe, powiedzmy nawet nieskończenie małe, tak że substancja zachowywałaby się jak substancja jednorodna, ciągła; byłoby to już tylko problemem sporu dla filozofów, czy, przypuszczając taką *quasi* ciągłą substancję, składającą się z nieskończenie małych

atomów w nieskończenie małych odstępach, głosimy teorię ciągłości czy teorię atomistyczną.

Całkiem odmiennie przedstawia się sprawa w świetle dowodów innego rodzaju: t. j. ilościowych, dających wskazówki wyraźne co do liczby i rozmiarów cząsteczek, atomów, elektronów. Jako historycznie pierwsze wymienić tu wypada przedewszystkiem pewne zjawiska nieodwracalne, wobec których termodynamika jest bezsilna, podczas gdy teoria kinetyczna wyjaśnia je w nadzwyczajnie prosty sposób. Przyczem na każdym kroku okazuje się słuszność jej pojęć podstawowych. Mam tu na myśli zjawiska lepkości, przewodnictwa cieplnego i dyfuzji gazów, które od czasów prac Clausiusa i Maxwella są polem popisowem teorii kinetycznej gazów. Wiadomo, że szereg zjawisk został tu przepowiedziany przez teorię kinetyczną, a następnie dopiero doświadczalnie stwierdzony, jak przybliżona wielkość współczynników przewodnictwa cieplnego i dyfuzji, niezależność współczynników lepkości i przewodnictwa cieplnego od ciśnienia gazu, wzrost współczynnika dyfuzji proporcjonalnie do rozrzedzenia gazu. Nadzwyczaj zajmujące są specjalne zjawiska, które przy rozrzedzaniu gazów występują na ścianach naczynia i wogóle na powierzchniach stałych, mianowicie ślizganie się gazu przy ruchu mechanicznym i skok temperatury przy przewodnictwie ciepła. Przy wielkich rozrzedzeniach (jeżeli droga swobodna cząsteczek jest duża w porównaniu do rozmiarów naczynia) gaz zachowuje się w sposób odmienny niż w zwykłych warunkach: na miejsce prawa Poiseuille'a wyrażającego przepływ gazu przez rurkę włoskową mamy prawo zbliżone do Bunsena prawa o efuzji gazu, tak że objętości gazów przepływających nie zależą od lepkości, lecz są odwrotnie proporcjonalne do pierwiastka z ich gęstości; dalej, w mieszaninie gazów każdy składnik porusza się ze swoją właściwą prędkością, niezależnie od innych. Ilość ciepła przewodzonego przez warstwę takiego gazu nie zależy od grubości warstwy, ale jest proporcjonalna do jego ciśnienia. Najdziwniejsze jednak, że w naczyniu, którego części mają różną temperaturę, ciśnienia przez gaz wywierane na ściany są nierówne, że w miejscach cieplejszych są większe, w stosunku pierwiastka z temperatury bezwzględnej, niż w miejscach chłodniejszych. Wiemy obecnie, że na tych zjawiskach, dopiero w ostatnich latach bliżej poznanych, polega radiometr Crookesa, a odmienną udoskonaloną formę takich przyrządów wprowa-

dził niedawno Knudsen jako t. zw. manometr bezwzględny, celem mierzenia prędkości bardzo rozrzedzonych gazów.

Wszystkie te zjawiska wynikają jako proste, naturalne konsekwencje z podstawowych pojęć teorii kinetycznej; w podobny sposób mechanizm nieodwracalnych zjawisk elektrycznych tłumaczy się na podstawie elektroniki. Chodzi tu przede wszystkim o przewodzenie elektryczności. Od czasów Hittorfa, Arrheniusa i Kohlrauscha rozumiemy mechanizm przewodzenia elektrolitów; badania nowszych badaczy, zwłaszcza J. J. Thomsona i jego uczniów wyjaśniły w ogólnych zarysach zawiłe zjawiska przewodzenia elektryczności w gazach, które od czasów Faradaya uchodziły za jedną z zagadek fizyki. Wspomnę jeszcze o teorii przewodnictwa metalicznego, o wytłumaczeniu prawa Wiedemanna i Franza, wreszcie przypomnę nowsze badania teoretyczne nad dyspersją i absorpcją światła, nad optycznymi właściwościami metali; wszędzie okazała się płodność teorii elektronowej, wszędzie dzisiejszy postęp polega na eksploatacji myśli przez nią rzuconych.

Jest to rzecz charakterystyczna, że zjawiska te nieodwracalne są ściśle związane z liczbą cząsteczek, atomów, elektronów. Na tej podstawie Loschmidt pierwszy zdołał znaleźć rząd wielkości liczby cząsteczek ze zjawisk dyfuzji; tak samo też można wyznaczyć przybliżone rozmiary ionów z przewodnictwa elektrycznego, a liczbę elektronów dyspersyjnych ze zjawisk dyspersji światła.

Przejdźmy do zjawisk odwracalnych, czyli do stanów równowagi termodynamicznej. Na tem polu dokonała teoria w ostatnich latach znacznych postępów. Poznano, że zjawiska te objawiają się nam odmiennie, jeżeli zapatrujemy się na nie ze stanowiska makroskopijnego, a odmiennie z punktu widzenia mikroskopijnego. Przebieg makroskopijnych zjawisk odwracalnych jest zgodny z drugą zasadą termodynamiki; zjawiska te dają się zatem równie dobrze wytłumaczyć sposobem kinetyczno-atomistycznym jak powołaniem się na zasady termodynamiki; nie dają one nam sposobu poznania struktury materji, liczby cząsteczek i t. d. Przeciwnie pewne nowo zbadane zjawiska, które dla krótkości oznaczyłem wspólną nazwą: „mikroskopijne“; one sprzeciwiają się przyjętym zapatrywaniom termodynamicznym, ich obecność jest dowodem atomistyczno-cząsteczkowej struktury i z nich wnosić można o liczbie cząsteczek. Należą do nich przede wszystkim ruchy Browna i opalescencja gazów i cieczy.

O tych zjawiskach wspomniałem już na Zjeździe we Lwowie w r. 1907, ale ponieważ od tego czasu na tem polu znaczne uczyniono postępy, a przedmiot wiąże się z zasadniczym zagadnieniem atomistyki i teorii kinetycznej, więc kilka słów pozwolę sobie jeszcze dorzucić. Przez zasadnicze zagadnienie teorii kinetycznej rozumieć należy pogodzenie atomistyczno-kinetycznego poglądu na materję ze stanowiskiem termodynamicznym, czy też rozstrzygnięcie między niemi. Od dawien dawna wiadomo, że istnieje pewna sprzeczność, wynikająca z ogólnych podstaw tych teorii; według teorii kinetycznej możliwe byłoby zjawiska, które są sprzeczne z drugą zasadą termodynamiki. Już słynny demon Maxwella był dowodem, że z punktu widzenia kinetyki druga zasada termodynamiki dałaby się obalić; można by energję mechaniczną wytwarzać kosztem ciepła pochodzącego z zimnego otoczenia, gdyby można było działać dowolnie na indywidualne cząsteczki; albo np. gdyby można było zbudować wentyl jednostronny i tak czuły, żeby pod naciskiem jednej, czy kilku cząsteczek, otwierał się. Druga zasada byłaby zatem słuszna tylko z punktu widzenia ludzkiej niezręczności, niedoskonałości naszych środków technicznych.

Co więcej, teoria kinetyczna tłumaczy wszystkie zjawiska jako mechaniczne przez przyjęcie sił konserwatywnych; prawa mechaniki sprowadzają się ostatecznie do zasady Newtona:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = X$$

w której występuje różnica czasu dt w kwadracie. To znaczy, że równie dobrze można zaopatrzyć ją znakiem dodatnim jak ujemnym; każdy zatem ruch konserwatywny może odbywać się nie tylko w miarę czasu postępującego, ale też równie dobrze cofającego się. Wszystkie zjawiska mechaniczne mogą zatem przebiegać w kierunku przeciwnym do tego, w jakim chwilowo przebiegają, to znaczy: tak jak gdyby czas cofał się wstecz. A zatem druga zasada termodynamiki zostałaby odwrócona: entropja dążyłaby nie do maximum, lecz do minimum. Zarzut ten, który odstraszał szereg pierwszorzędnych uczonych od teorii kinetycznej, został do pewnego stopnia wyjaśniony przez Boltzmanna twierdzeniem, że zjawiska „wsteczne“, niezgodne z zasadą entropji, wprawdzie są możliwe, ale są nadzwyczajnie nieprawdopodobne, tak że w praktyce ich nie dostrzegamy. Jeżeli nasypimy do pudełka warstwę maku czarnego, a na nią warstwę maku białego i jeżeli potrząsamy tem pudełkiem, ziarenka czarne

i białe z czasem pomieszą się. Możliwe byłoby teoretycznie wyko-
nanie takich ruchów, któreby oddzieliły ziarna czarne od białych
napowrót, ale w praktyce zawsze tylko spostrzeżemy postępujące
zmieszanie, aż w każdej części mniej więcej równie wiele będzie
czarnych i białych ziarenek. Przykład ten ilustruje zjawisko znane
jako dyfuzja gazów, np. tlenu i azotu, początkowo rozdzielonych.
Dyfuzja taka następuje samodzielnie i termodynamika dowodzi, że
podczas niej entropja wzrasta (w związku z tem jest „paradoks
Gibbsa“). Przeciwnie zdarzenie, automatyczne rozdzielanie się powie-
trza na tlen i azot, jest wykluczone według termodynamiki. Według
teorii kinetycznej jest ono możliwe, ale nadzwyczajnie nieprawdo-
podobne. Łatwo np. sposobem Boltzmanna udowodnić, że równo-
mierne rozmieszczenie tlenu i azotu w jednym centymetrze sześci-
nym jest mniej więcej 10^{19} razy prawdopodobniejsze niż zupełne ich
rozdzielenie; nie zatem dziwnego, że w praktyce obserwujemy tylko
pierwszy wypadek.

Tłumaczenie Boltzmanna jest niewątpliwie słuszne, ale jesz-
cze sprawy nie wyczerpuje. W omówionym właśnie przypadku sy-
stemat cząsteczek gazowych dążyć będzie do stanu najprawdopo-
dobniejszego, do maximum entropji, ale łatwo wymyśleć inne ro-
dzaje systematów mechanicznych, gdzie tak nie będzie. Wyobraźmy
sobie np. szereg punktów materialnych nawleczonych, w jednako-
wych odstępach, na nitkę kauczukową. Jeżeli udzielimy punktom
tym pewnych prędkości, powstanie ruch perjodycznie się powtarza-
jący i systemat nie będzie dążył do stanu wyrównanego, najprawdo-
podobniejszego, w którym każdy punkt posiadałby przeciętnie jedna-
kową energję kinetyczną. Takie przypadki są zapewne tylko oso-
bliwymi wyjątkami, liczba ich zapewne w porównaniu z normalnemi
przypadkami, zgodnemi z zasadą wzrastania entropji, będzie tak
mała jak mnogość liczb wymiernych w stosunku do mnogości liczb
niewymiernych. Widać jednakże, że potrzeba bliższego zbadania
warunków charakteryzujących układy normalne, w przeciwieństwie
do układów wyjątkowych.

Boltzmann za kinetyczną miarę entropji uważa słynną funk-
cję H , albo raczej ujemną jej wartość, określając ją jako logarytm
prawdopodobieństwa danego układu. W poprzednio omówionym
przykładzie łatwo możemy porozumieć się co do znaczenia „praw-
dopodobieństwa“, ale jak to pojęcie ogólnie określić? Jak wogóle
może być mowa o prawdopodobieństwie — zatem o przypadku —

wobec zjawisk wynikłych z danych warunków początkowych pod
działaniem określonych praw mechaniki?

Ścisłejsze ujęcie tych rozważań i usunięcie wspomnianych już
trudności jest zadaniem działu fizyki, zapoczątkowanego niegdyś
przez Maxwella: mechaniki statystycznej, polegającej na badaniu
prawideł, którym podlegają statystyczne mnogości układów mecha-
nicznych. Oprócz ostatniego dzieła Gibbsa, poświęconego temu
przedmiotowi, wymienić trzeba tu zwłaszcza prace Einsteina,
Jeansa, Herza, Silbersteina, wreszcie świeżo ogłoszoną roz-
prawę Jana Kroö, w której znajdujemy pewne kryterja pozwa-
lające w niektórych przypadkach z góry osądzić, czy dany układ
jest normalny, to znaczy, czy dąży do wyrównania czy też nie. Do
całkowitego wyjaśnienia wszelkich z tem związanych zagadnień
jeszcze daleko, ale przecież zdaje się rzeczą pewną, że systematy
mechaniczne, jakie przyjmuje teoria atomistyczno-kinetyczna, w ogól-
nych zarysach, makroskopijnie widziane, muszą się zachowywać
zgodnie z termodynamiką. Pod tym zatem względem zarzuty po-
doszone przeciwko kinetyce nie są słuszne.

Całkiem odmiennie przedstawia się jednak ta sprawa, gdy śle-
dzimy takie zjawiska sposobem mikroskopijnym. Druga zasada jest
wynikiem prawdopodobieństwa, to znaczy prawa wielkich liczb;
ponieważ jednak liczba cząsteczek nie jest nieskończenie wielka,
więc wciąż muszą istnieć także pewne zmienne zboczenia przypad-
kowe od normalnego przeciętnego toku rzeczy, i to tem większe,
im mniejsza jest liczba cząsteczek biorących udział w danem zja-
wisku. Dostrzegalne będą tu zboczenia zatem tylko, gdy śledzić
potrafimy niezbyt liczne gromady; stąd nazwa „mikroskopijne“.

Przykład tego rodzaju jest oddawna znany: nierówności tempe-
ratury, rządzone przez Maxwella prawo o rozdziale prędkości;
nie nadaje się on jednak do kontroli doświadczalnej, nie mamy
sposobu bezpośredniego mierzenia temperatury drobnych ciałek.

Do obserwacji nadają się nierównomierności ciśnienia oraz nie-
równomierności gęstości lub koncentracji. Pierwsze mogą być uwi-
docznione przez ruchy, które one powodują, np. ruchy Browna,
a drugie przez zjawisko Tyndalla: opalescencję ośrodka, lub
(jeżeli chodzi o zawiesiny cząstek ultramikroskopijnych) wprost
przez liczenie cząstek zawartych w danym zakresie przestrzeni
(Svedberg). O ruchach Browna tyle pisano i mówiono w ostat-
nich latach, że zbyteczne byłoby powtarzanie tych rzeczy. O zja-

wiskach opalescencji gazów i cieczy, występujących wyraźnie zwłaszcza w punkcie krytycznym, mówiłem na Zjeździe w r. 1907; obecnie dodam, że teoria moja została podjęta przez Einsteina i że została uzupełniona dokładniejszym ilościowym obliczeniem zdolności absorbującej i rozpraszającej takiego ośrodka.

Chciałbym zwrócić uwagę na proste prawo matematyczne, rzadzące temi przypadkowymi anomaljami. Jeżeli gramy w taką grę hazardową, że przy każdej próbie równie prawdopodobne jest zyskanie jak stracenie jednostki, prawdopodobieństwo, zyskania albo stracenia r jednostek w ciągu n prób wynosi:

$$\frac{1}{2^n} \frac{n!}{\left(\frac{n-r}{2}\right)! \left(\frac{n+r}{2}\right)!}$$

z czego łatwo oblicza się, że prawdopodobny zysk, albo strata, przy n próbach wynosi $\sqrt{n}$, jeżeli n jest liczbą wielką.

Podobnie, w gazie spoczywającym, cząsteczka równie dobrze może poruszać się na prawo jak na lewo, a w raz obranym kierunku porusza się tylko przez nader krótki przeciąg czasu, aż spotkania z innymi cząsteczkami zmieniają jej kierunek. Każdorazowe przesunięcia dodatnie i ujemne są równie prawdopodobne, zatem średnie przesunięcie całkowite, osiągnięte po upływie czasu t , musi być proporcjonalne do $\sqrt{t}$. To samo odnosi się do przesunięć cząstek zawieszonych w cieczy i odbywającej ruchy Browna.

Rozważajmy element przestrzeni, napełniony gazem idealnym i rozdzielony na dwie połowy. Dla każdej cząsteczki pobyt w jednej i drugiej połowie jest równie prawdopodobny; jeżeli w całości znajduje się r cząsteczek, nie rozdzielią się one na równe części; prawdopodobnie liczba w jednej części będzie o $\sqrt{r}$ większa niż w drugiej. Procentowe zgęszczenie lub rozrzedzenie jest zatem pro-

porcjonalne do $\frac{1}{\sqrt{r}}$; nierówności tem silniej więc występują, im mniejsza liczba cząsteczek. Tego rodzaju obserwacje dają zatem bezpośredni sposób wyznaczania tej liczby.

Analogiczne zjawiska muszą występować w dziedzinie elektryczności. Dotychczas stwierdzono je w jednym tylko przypadku, który właściwie należy do zjawisk nieodwracalnych, t. j. w wahaniach liczby cząstek α i β , wysyłanych przez ciała promieniotwórcze (badania Schweidlera, Rutherforda i Geigera). Tu wszakże

z wielką precyzją można było stwierdzić zgodność wzoru, wprowadzonego zupełnie analogicznie do poprzednich przykładów.

Po omówieniu jakościowych dowodów atomistyki, oraz zjawisk tłumnych, wydadtających liczbę cząsteczek lub atomów, przechodzimy do trzeciej kategorii zjawisk, do dowodów najoczywistszych, t. j. izolacji i obserwacji pojedynczych atomów. Jeżeli chodzi o pojedyncze cząsteczki materialne, musimy do tej kategorii zaliczyć także ruchy Browna, gdyż cząstki zawiesin występują w nich w roli dużych molekuł, ale jeżeli chodzi nam o atomy, to takimi zdobyczami dotychczas poszczycić się może tylko atomistyka elektryczności.

Dużego rozgłosu nabyły słynne doświadczenia Rutherforda i Geigera oraz Regenera, w których liczono cząstki α i ich nabój; tu chodziło o atomy dodatnio elektryczne, poruszające się z ogromną szybkością i wskutek tego wywołujące specjalne zjawiska. Jeszcze godniejsze uwagi są doświadczenia Millikana, stanowiące ostateczne wydoskonalenie metody, wymyślonej przed dziesięcią laty przez J. J. Thomsona i dalej opracowanej przez H. A. Wilsona, Ehrenhafta i innych, w których mierzono naboje rzędu 10^{-10} jednostek elektrostatycznych (dodatnie lub ujemne), znajdujące się na mikroskopijnie drobnych kropelkach oliwy, unoszących się w powietrzu. Ruch takiej kropelki, który można śledzić przez całe godziny, opadanie jej pod wpływem ciężkości, wznoszenie się wskutek zastosowania odpowiednich sił elektrycznych, umożliwia znalezienie jej masy oraz naboju (przy pomocy prawa Stokesa) ze zdumiewającą dokładnością. Pokazało się, że owe naboje są wprawdzie różnie wielkie, ale są zawsze dokładnymi wielokrotnościami liczby $4.891 \cdot 10^{-10}$, którą zatem za atom elektryczny uważać musimy.

Zastanówmy się, jak z punktu widzenia tych badań, dokonanych w ostatnich latach, przedstawia się kwestja liczby i rozmiarów atomów. W literaturze naukowej znajduje się kilkadziesiąt różnych t. zw. sposobów obliczania rozmiarów molekularnych, gdyż tak w fizyce nazywają prawie każdy rachunek, z którego wynika coś rzędu wielkości 10^{-8} cm. Ale jeżeli szukamy racjonalnych i ścisłych metod, ostanie się z nich bardzo niewiele.

Dopóki chodziło tylko o rząd wielkości, można było oprzeć się na tradycyjnej metodzie kinetycznej teorii gazów, pochodzącej od Loschmidta i polegającej na obliczeniu drogi swobodnej

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} n \pi \delta^2}$$

ze zjawisk dyfuzji, albo lepkości lub przewodnictwa cieplnego i skombinowaniu jej z objętością molekuł $\frac{4}{3} n \pi \delta^3$. Dziś nam to nie wystarczy; liczbowy wynik rachunku zależeć musi od nieznanego prawa sił międzycząsteczkowych, które muszą wpływać na długość drogi swobodnej. Druga dana, rzeczywista objętość molekuł, nie da się również dokładnie wyznaczyć, po pierwsze ponieważ prawo van der Waalsa, którego tu używano, nie jest dokładnie ważne, a przede wszystkim dlatego, że cząsteczki nie posiadają rzeczywistej objętości, w dawnym tego słowa znaczeniu. Przeszarżały pogląd, jakoby cząsteczki były ziarnami kulistymi o niezmiennej wielkości, jest zupełnie sprzeczny z dzisiejszym stanem nauki i utrzymuje się jeszcze tylko dlatego, że ułatwia nam myślenie. Tem bardziej porzucić trzeba metody wyznaczania liczby cząsteczek przy pomocy współczynnika optycznego załamania, albo stałej dielektrycznej, gdyż hipoteza Clausiusa-Mossottiego o strukturze dielektryków, służąca im za podstawę, dzisiaj już tylko z historycznego punktu widzenia nas interesuje, jako zabytek przedelektronowych czasów. Tak zatem wszystkie liczby podane np. w O. E. Meyera „Gas-theorie“ są bezpodstawne.

Dzisiaj mamy tylko dwie drogi do wyznaczenia tych wielkości: jedną opartą na ruchach Browna i pokrewnych zjawiskach, drugą na wspomnianych poprzednio sposobach bezpośredniego znalezienia naboju elektronowego. Można by jeszcze pomyśleć o metodzie opartej na zjawiskach opalescencji gazów, na absorpcji światła słonecznego w atmosferze (Rayleigh), ale metoda ta podlega znacznym trudnościom doświadczalnym, a co ważniejsza także pewnym zarzutom teoretycznym, tak że nie może obecnie konkurować ze sposobami poprzednio wymienionymi.

Według pomiarów wykonanych przez Perrina, wspólnie z pp. Dąbrowskim i Chaudesaigues, nad ruchami Browna, wynikałoby $3 \cdot 17 \cdot 10^{19}$ jako liczba cząsteczek zawartych w centymetrze sześciennym gazu w normalnym stanie. Zdaje się, że pomiar naboju elektronowego przy pomocy promieni α większym podlega błędom doświadczalnym, natomiast jego pomiar metodą kropelek opadających, przez Millikana, zasługuje zapewne dzisiaj na największe zaufanie. Łącząc jego wynik ze znanym równoważnikiem elektrolitycznym, otrzymujemy, zamiast poprzednio podanej liczby

wartość: $2 \cdot 67 \cdot 10^{19}$. Porównując te dwa oznaczenia, widzimy, że metoda Millikana jest bezpośredniejsza i że wynik jej jest średnią wartością wielkiej liczby oznaczeń bardzo mało różniących się między sobą; dlatego możnaby ją uważać za pewniejszą, ale nie wiadomo na razie, co zarzucić wyznaczeniom pierwszego rodzaju (opartym na ruchach Browna i na równowadze grawitacyjnej zawieszin), chyba może zbyt wielką koncentrację używanych zawieszin, gdyż wielkość koncentracji według badań Svedberga wywiera wybitny wpływ. Dopóki jednak pomiary nie zostaną powtórzone przez większą liczbę badaczy, niepodobna osądzić, która z dwóch liczb bardziej zbliża się do rzeczywistości.

Pozostaje nam do omówienia część najbardziej pociągająca, ale jeszcze najmniej dojrzała atomistyki: synteza spekulacji atomistycznych i elektronowych, czyli badania nad strukturą, nad wewnętrzną budową atomów. Że wogóle o tych problematach można dzisiaj naukowo dyskutować, jest to nadzwyczajnie doniosły postęp ostatnich kilkunastu lat. O wynikach pewnych, ściśle uzasadnionych, jeszcze dzisiaj mowy niema; spekulacje różnych badaczy, zależnie od punktu wyjścia, odmienną przybierają postać i próby połączenia ich do tychczas nie wydały pozytywnego rezultatu.

Pewna jest jedna rzecz: atomy muszą składać się z większej liczby oddzielnych elektronów ujemnych i równoważnego naboju dodatniego, ale ich liczba i sposób powiązania z ową zagadkową elektrycznością dodatnią są nieznanne. Najskłówniejsza i szczegółowo najbardziej opracowana jest teoria J. J. Thomsona, oparta na rozważaniach stałości równowagi wewnętrznej struktury atomowej i związku z perjodycznym układem atomowym; według niej atomy byłyby złożone z dodatniego naboju elektrycznego, wypełniającego z jednostajną gęstością przestrzeń kulistą, oraz z elektronów ujemnych, ustawionych w jej wnętrzu w warstwach spółśrodkowych¹⁾.

Dawniej przypisywano bezwładność atomów owym elektronom, sądzono więc, że tysiące ich muszą się składać na jeden atom; tymczasem nowsze badania Crowthera nad rozpraszaniem promieni β przez materję, wraz z obliczeniami Thomsona, wskazywałyby, że liczba elektronów równa się tylko (mniej więcej) ośmiokrotnemu ciężarowi atomowemu (względem wodoru). W takim razie bezwładność swoją materja musiałaby zawdzięczać przede wszystkim elektryczności

¹⁾ [Przypominamy, że wykład niniejszy był wypowiedziany w roku 1911-ym; przyp. wyd.]

dotadniej, to jest temu, co dotychczas jest najbardziej zagadkowe i na co dopiero dalsze badania nad promieniami kanałowymi, w ostatnich czasach tak świetnie prowadzone przez Thomsona, rzuca może światło. Thomson pokazał, że jego teoria mogłaby wytłumaczyć niestałość budowy atomowej, występującą w pewnych przypadkach, oraz wyrzucanie cząstek β , ale większą trudność sprawia wyjaśnienie, czemu w innych razach rozkład atomu połączony jest z wyrzucaniem cząstek α .

Zasadnicze zjawiska promieniotwórczości tworzą punkt wyjścia teorii Starka o budowie atomu z „archionów”. Przeciwnie Rutherford, w świeżo ogłoszonej pracy, opartej na zjawiskach absorpcji promieni α i β , wyluszcza teorię, że atomy są złożone z silnego naboju centralnego (dodatniego) i dokoła niego w przestrzeni kulistej równomiernie rozmieszczonego naboju przeciwnego.

Nowe trudności podnoszą się, jeżeli chcemy wytłumaczyć zjawiska absorpcji i dyspersji światła. Z góry możnaby przypuścić, że wszystkie elektrony brać będą udział w drganiach elektromagnetycznych; później zdawało się, że liczba elektronów odpowiadających na drgania elektromagnetyczne w gazach jest pewną niewielką wielokrotnością ciężaru atomowego. Nowsze badania wykazały, że w licznych przypadkach liczba „elektronów dyspersyjnych” jest bezporównania mniejsza niż liczba atomów, tak że na tysiące albo dziesiątki tysięcy atomów przypada tylko jeden elektron dyspersyjny.

Która z różnych dróg rozumowania tu nakreślonych okaże się najwłaściwsza, jak dojdziemy do syntezy łączącej wszystko w całkowity obraz struktury atomu, dzisiaj przesądzać nie możemy. Daje nam to wiarę w powodzenie tych usiłowań, że widzimy przed sobą drogi wiodące do postępu; badania nad rozpraszaniem promieni α i β oraz badania promieni kanałowych wydają się tu zwłaszcza obiecujące.

IV. LICZBA I WIELKOŚĆ CZĄSTECZEK I ATOMÓW.

Wiadomości Matematyczne, tom XVII, str. 315–329; 1913. (W języku niemieckim: Scientia, tom XIII, pp. 27–44, 1913).

Fizyka nowoczesna jest nauką ścisłą: stara się ona prawa przyrody eksperymentalnie poznane ująć ilościowo w możliwie dokładną formę matematyczną i, stosownie do tego, uznaje tylko takie teorie fizyczne za uzasadnione, które nadają się do dokładnego liczbowego sformułowania i do skontrolowania przez dokładną zgodność matematyczną wyników z prawami przyrody, poznanymi ilościowo. Dlatego fizyk dzisiejszy odczuwa pewien niesmak, gdy słyszy zdanie, że filozofowie greccy Leukippos i Demokritos, lub rzymianin Lukrecjusz, są twórcami teorii atomistycznej. To, co wiadomo o atomistyce starożytnych i o późniejszych jej interpretacjach, wydaje mu się fantastycznym rojeniem, albowiem nie dostrzega tam właśnie tego, co jest najistotniejsze w teorii fizycznej: mianowicie stwierdzenia zgodności ilościowej z formą liczbową praw przyrody. O tem wcale nie można było myśleć tak długo, dopóki fizyka miała tylko surowy charakter jakościowy.

Zapewne atomistyka, jako doktryna filozoficzna, sięga w przeszłość więcej niż dwa tysiące lat, ale jako ścisła teoria fizyczno-chemiczna liczy zaledwie jedno lub dwa stulecia. Wprawdzie Daniel Bernoulli (1738) wykrył w sposób genialny, że prawo Boyle'a odwrotnej proporcjonalności ciśnienia gazu do objętości przez gaz zajmowanej daje się objaśnić bardzo prosto przez założenie, że gazy składają się z małych cząsteczek, poruszających się prostoliniowo; lecz poważniejsze i ogólniejsze dowody, zniewalające do przyjęcia atomistyki, znaleziono znacznie później.

Przedewszystkiem wymienić tu należy, oczywiście, odkrycie przez Daltona (1808) prawa podstawowego chemji, t. j. prawa