

II. EWOLUCJA TEORJI ATOMISTYCZNEJ.

Rzecz czytana na posiedzeniu publicznem Polskiej Akademji Umiejętności w dniu 20-ym maja 1911 r. — Rocznik Akademji Umiejętności w Krakowie, rok 1910—11, str. 131—154. — Wiadomości Matematyczne, tom XV, str. 201—216. 1911.

Chcąc skreślić obraz ewolucji atomistyki, spotykamy się odrazu z wielką trudnością: odkąd datować tę ewolucję, co uważać za naderżyny teorii atomistycznej, kogo czcić jako jej twórcę? Utarty zwyczaj każe nam hołd oddawać starogreckim filozofom, zwłaszcza Leukippowi, od którego pochodzi nazwa atomu, oraz Demokrytowi z Abdery (około r. 400 przed Chr.), figurującemu w naszych podręcznikach jako właściwy ojciec atomistyki. Znawcy literatury indyjskiej pouczają nas jednak, że już staro-indyjski filozof Kanada wymyślił systemat filozoficzny *Vaiseshika*, twierdzący, że wszystko: ziemia, woda i ogień, a nawet czas, przestrzeń, rozum składają się z atomów (nazwanych *ansu*); może więc nawet systemat greckich filozofów był tylko oddźwiękiem owej nauki indyjskiej. Kto wie, czy nie istnieli jeszcze poprzednicy owych mędrców, o których nawet słuch zaginął?

Czy w tem wszystkim jednak chodzi o atomistykę w znaczeniu teorii naukowej? Przyrodnik dzisiejszy mało znajdzie pożytku w studjowaniu atomistyki greckiej. Dziś nauki ściśle stwarzają teorie i hipotezy, chcąc wytłumaczyć prawa przyrody doświadczalnie poznane, chcąc umożliwić nam objęcie umysłem ich zawiłych związków. Owi mędrcy natomiast nie zadawali sobie wcale pracy przedwstępnej, t. j. ścisłego badania praw przyrody; dziwny nam się dzisiaj wydaje brak zmysłu obserwacyjnego, nawet np. u Arystotelesa. Z wyjątkiem chyba dziedziny astronomji, zakres ich wiadomości nie wychodził poza naiwne, często zawodne doświadczenia najwykleszego życia codziennego. Nie znając zaś przedmiotu, który

miał być wyjaśniony, nie mogli tworzyć teorii naukowej, jak nie można prowadzić wojny, nie wiedząc, kto jest nieprzyjacielem.

To też fizyka dzisiejsza lekceważy ową atomistykę grecką, uważając ją za bezcelowe, fantastyczne spekulacje, nie dowiedzione niczem i nie tłumaczące niczego, stojące mało co wyżej od indyjskich i perskich systematów teozoficznych lub od mitologicznych baśni ludów germańskich. Są one z pewnością zajmujące z punktu widzenia filozoficznego i historycznego, mogą objaśnić psychologicznie kiełkowanie poglądów czy wierzeń atomistycznych, ale nie są to teorie naukowe; nie można przyznać tej nazwy fantastycznym twierdzeniom, podanym bez żadnego uzasadnienia faktycznego. Pod tym względem i dwadzieścia następnych wieków nie zaznaczyło się żadnym postępem, a nawet w pracach Gassendi'ego, Boyle'a, Daniela Bernoulli'ego odnajdujemy ledwie ślady racjonalnego i dzisiejszej metody naukowej odpowiadającego uzasadnienia.

Ze stadjum fantastycznej spekulacji przeszła atomistyka w stadjum ścisłej teorii naukowej właściwie dopiero w wieku XIX, kiedy Dalton, w 1805 r., proste liczbowe prawidła, zauważone przy powstawaniu związków chemicznych, wytłumaczył łączeniem się niezmiennych atomów w pewne grupy, molekuly czyli cząsteczki, które od czasu Berzeliusa 1820 r. wyrażamy znanymi formułami chemicznymi; kiedy Avogadro w 1811 r. z przemian chemicznych gazów wywnioskował, że w danej objętości takich cząsteczek wszystkie gazy zawierają jednakowe liczby (naturalnie w jednakowych warunkach temperatury i ciśnienia). Dziś, nawiasem mówiąc, znamy tę liczbę, wynosi ona w zwykłych warunkach około trzydziestu tryljonów cząsteczek na centymetr sześcienny.

Z chemji przeszczepiona do fizyki, teoria atomistyczna dopiero wtedy rozkwitła prawdziwie, gdy przekonanie utorowało sobie drogę, że ciepło polega na ruchu cząsteczek i atomów i gdy z tego punktu widzenia nauczono się rozumieć naczelną zasadę fizyki nowoczesnej: zasadę zachowania energii. Odtąd założenie o atomistycznej budowie materji jest związane nierozdzielnie z przypuszczeniem bezustannego ruchu cząstek składowych, odtąd atomistyka w fizyce jest teorią atomów ruchomych, jest teorią kinetyczną.

Wiadomo, że Clausius, Maxwell i inni zdołali na tych podstawach nie tylko wytłumaczyć empirycznie poznane właściwości gazów, wyprowadzić prawidła matematyczne, dotyczące ich ściśłości, rozszerzalności cieplnej, przewodnictwa cieplnego, lepkości,

dyfuzji i t. p., że zdołali nawet przepowiedzieć na podstawie rachunku teoretycznego szereg zjawisk, które dopiero *a posteriori* doświadczalnie sprawdzono.

Takim triumfem teorii kinetycznej było np. stwierdzenie faktu, że lepkość gazu nie zależy od jego stopnia rozrzedzenia, oraz obliczenie ciepła właściwego pary rtęci, jako gazu jednoatomowego. Tak w 80 lat po Daltonie teoria atomistyczno-kinetyczna zdawała się jaknajsilniej ugruntowana, jako jedyna bez rywalki teoria, tłumacząca w prosty sposób szeroki zakres zjawisk fizycznych i chemicznych; rozpoczęła nawet nową fazę rozwoju, wyjaśniając właściwości cieczy, jak to przedtem uczyniła dla gazów, gdy przeciwko niej podniosła się fala reakcji.

Jakież były motywy opozycji przeciwko atomistyce? Wynikły one po części z ogólnych poglądów filozoficznych, po części z konkretnych rozumowań naukowych. Przysnać trzeba przedewszystkiem, iż nie jest to jeszcze dowodem prawdziwości pewnej hipotezy, że ona tłumaczy szereg faktów; może dałoby się znaleźć jeszcze inne wytłumaczenie. Mach i Ostwald sprzeciwiali się wogóle wprowadzeniu do fizyki hipotez, nie dających się udowodnić, jak hipoteza o istnieniu atomów. Widzieć tak małych ciałek oczywiście nie możemy, tem mniej ruchów ich dostrzec nie można. Nauka powinna być ścisła, powiadali, wyrzucmy zatem z niej wszystko, co jest problematyczne, co trąci metafizyką lub antropomorfizmem, oczyszczajmy ją od hipotez. Mach nazywa atomistykę hipotezą naiwną, dziecinną, a co najmniej zbyteczną. Ostwald, potępiając wszelkie pokusy stworzenia obrazu czy modelu przyrody, głosi ideał „einer hypothesenfreien Wissenschaft“. Dokonał on istotnie niemałej sztuki w swym podręczniku chemji, wykładając zarys chemji nowoczesnej bez używania pojęcia atomu lub cząsteczki. Co prawda, książka ta sprawia wrażenie bardzo sztucznie prowadzonej konwersacji, w której umyślnie unika się pewnych, za „shocking“ uważanych słów, które uprościłyby i ułatwiłyby ogromnie całą dyskusję, gdyby ich wolno było używać.

Co gorsza, unikając tak starannie wszystkiego, co jest związane z hipotezą atomistyczną, Ostwald nie spostrzega, ile sam hipotez wprowadza, tłumacząc wszystkie zjawiska chemiczne i fizyczne jako objawy pewnych energii, którym przypisuje byt realny. To jest szczególnie charakterystyczny i równocześnie odpowiedź na owe zarzuty. Czyż można obejść się bez hipotez w życiu codziennem czy

w nauce? Hypotezą nawet jest to, że jutro znów będzie nowy wschód słońca; tak samo twierdzenie, że wszyscy kiedyś umrą. Tak samo i w nauce: ani kroku zrobić nie można bez oparcia się o hipotezy. Hypotezy i teorie, nawet takie, w których obiektywną rzeczywistość wcale nie wierzymy z jakiegobądź powodu, są doniosłym postępem, jeżeli ułatwiają nam objęcie myślowe szeregu zjawisk i jeżeli doprowadzają do przewidywania nowych faktów, jak właśnie atomistyka.

Z drugiej strony odzywały się też pewne zarzuty, od dawien dawna podnoszone przez niektórych filozofów [patrz np.: Stallo (Begriffe u. Theorien d. modernen Physik)]. Czy teoria atomistyczna nie polega właściwie na tem, co nazywamy „tłumaczeniem w kółko“? Wszak bezwładność materji sprowadzamy do bezwładności atomów, sprężystość ciała uważamy za skutek spotkań sprężystych atomów, wogóle, jak Lord Kelvin (z pewną może przesadą) powiedział: „atomistyką nie wytłumaczmy żadnej właściwości materji, w którą poprzednio już nie ubierzemy atomów“. Nie jest-że atomistyka t. zw. *circulus vitiosus*? Zarzut ten był może słuszny wobec spekulacyj mędrców greckich, ale nie wobec atomistyki współczesnej; jej celem nie jest wytłumaczenie istoty masy, istoty siły i t. d., lecz wytłumaczenie formy matematycznej prawideł natury. Chodzi o to, że sprężystość gazów właśnie stosuje się do prawa Boyle-Charles'a czy van der Waalsa, a nie do innej formuły pomysleć się dającej. Tak malarzowi skład chemiczny farb używanych jest obojętny, a chodzi tylko o oddanie za ich pomocą barw i kształtów przedmiotów widzianych.

Owe zarzuty polegają zatem właściwie tylko na nieporozumieniu co do zadania i celu teoryj fizycznych. O wiele poważniejszy od nich jest jednak zarzut podniesiony ze strony fizyki matematycznej, dążący w samo sedno, w zasadnicze pojęcie atomistyki, który, gdyby okazał się słuszny, musiałby obalić całą tę teorię. Chodzi o to: pomijając wszystkie kwestje specjalne co do własności atomów, odnajdujemy jedną zasadniczą myśl, wspólną wszystkim jakkolwiek zbudowanym nowoczesnym teorjom atomistycznym: prawa przyrody uważamy za rezultat tego, co dzieje się z pojedynczymi atomami, więc za wynik niezmiernie wielkiej liczby zdarzeń indywidualnych, z których każde podlega wpływom przypadkowym, ale które w całości swej ujawniają pewne prawidłowości. Metoda rozumowania jest zatem ta sama, jak w naukach społecznych: metoda staty-

styki, związana z pojęciem prawdopodobieństwa. Tak samo jak socjolog obliczający przyrost liczby ludności, jak matematyk zajęty w towarzystwie asekuracyjnym, jak bankier domu gry w Monte Carlo, fizyk-atomista opiera swe kalkulacje na ocenie prawdopodobieństwa.

Jeżeli to wszystko jest słuszne, jeżeli właściwości ciał materialnych są istotnie wynikiem t. zw. prawa wielkich liczb, to przecież, oprócz zdarzeń zwykłych, prawdopodobnych, muszą przytrafiać się także przypadki wyjątkowe, mniej prawdopodobne, a nawet najnieprawdopodobniejsze; tak samo jak zdarza się niekiedy, że ktoś wbrew tablicom śmiertelności dożyje wieku wyjątkowego, albo też, że graczowi hazardowemu sprzyja wyjątkowe szczęście. Gdzie w fizyce są przykłady dowodzące zrzędzenia ślepego losu, takie zбочenia od normalnego, przeciętnego przebiegu rzeczy?

Rozważmy przykład specjalny. Powiadamy, że ciepło polega na przypadkowych, nieregularnych ruchach cząsteczek. Jeżeli to prawda, jeżeli są przypadkowe, to przypadek zrzędzić może, że wszystkie cząsteczki ciała ciepłego skierują swe prędkości w tę samą stronę, to znaczy, że owo ciało samodzielnie poruszy się z miejsca, wskutek wewnętrznego swego ruchu cieplnego. Czy widziano kiedykolwiek coś podobnego? Wszak byłaby to jaskrawa sprzeczność z empirycznie stwierdzoną drugą zasadą termodynamiki, wykluczającą możliwość samodzielnego przetwarzania się ciepła w energię mechaniczną. Gdyby takie zjawiska mogły odbywać się, możnaby zbudować „perpetuum mobile“, dające nam bezustannie energię ruchu kosztem ciepła pobranego z otoczenia.

Podobnie, jeżeli od przypadku zależy miejsce atomu wśród gazu wypełniającego naczynie, wówczas zaprzeczyć nie można możliwości, ażeby gaz sam z siebie cofnął się w jedną część naczynia, pozostawiając resztę pustą; tak samo też mieszanina dwóch substancji, powiedzmy azotu i tlenu, mogłaby automatycznie rozdzielić się na czysty azot i czysty tlen.

Zarzuty te, dające się także ująć w formę matematyczną, jako sprzeczność z zasadą wzrastania entropji, stanowiły poważną trudność dla teorii kinetycznej. Boltzmann, wielki propagator teorii kinetycznej, starał się udowodnić matematycznie, że wobec olbrzymiej liczby atomów przeciętne zбочenia zjawisk od przebiegu normalnego nie będą w praktyce dostrzegalne, mimo, że będą się wy-darzały; ale wybieg ten nie trafił przeciwnikom do przekonania.

Boltzmann powiada ze smutkiem w przedmowie do podręcznika teorii kinetycznej, wydanego w latach 1895—1898, że teoria kinetyczna „wyszła z mody“, a jako cel swego podręcznika podaje: uratowanie od zapomnienia tego, co już jest znane, aby nie potrzeba było tego kiedyś drugi raz na nowo odkrywać.

Jakże zmieniły się poglądy w ciągu następnego dziesięciolecia! Przedewszystkiem pokazało się, że to, co wówczas uważano za niemożliwe, za sprzeczne z termodynamiką, istotnie doświadczalnie może być wykazane. Nie chodzi tu o zjawiska zupełnie nowe, lecz o rzeczy dawno odkryte, które do tego czasu nie były rozumiane, a które teraz z tego punktu widzenia nauczono się pojmować.

Już w roku 1827 angielski botanik Brown zauważył, że każda mikroskopijnie drobna cząstka jakiegobądź materiału, unosząca się w cieczy, wykonywa drobne ruchy nieregularne, widoczne przy użyciu silnie powiększającego mikroskopu; sam Brown nawet już wówczas nazwał to „ruchem molekularnym“, nie motywując zresztą bliżej tego określenia. Nazwa ta pozostała, ale pogląd przez nią wyrażony później z różnych powodów porzucono; wogóle żadnych dokładniejszych badań nad tem zjawiskiem nie wykonano, mimo, że każdy przyrodnik obserwował je odtąd tysiące razy przy pracach mikroskopijnych i mimo, że później, w r. 1882-im, Bodszeewski zwracał uwagę na podobne ruchy, wykonywane bezustannie przez drobne cząstki dymu unoszące się w powietrzu. W grubych wielotomowych encyklopedjach i dziełach fizycznych — jeżeli wyszły przed rokiem 1906 — nie znajdziemy wzmianki o istnieniu ruchu Browna; trzeba wówczas było robić poszukiwania bibliograficzne, chcąc sobie o nim wyrobić zdanie na podstawie literatury naukowej; oficjalna nauka o nim zapomniiała. Wówczas dopiero fizyce teoretycy zwrócili nań uwagę, dowodząc przy pomocy analizy matematycznej, że wszystko, co wiadano o ruchu Browna, wielkość przesunięć, zależność ich od rozmiarów cząstek poruszających się oraz od rodzaju ośrodka, najzupełniej zgadzało się z tem, co na podstawie teorii atomistyczno-kinetycznej można było przewidzieć.

Od tego czasu badania doświadczalne szeregu eksperymentatorów stwierdziły te wnioski ponad wszelką wątpliwość. Nawet zacięty przeciwnik atomistyki, Ostwald, sam w roku 1908 uznał się za nawróconego do niej przez tak oczywiste dowody jak ruchy Browna oraz pewne zjawiska, o których dalej będzie mowa: „Ich

„habe mich überzeugt, daß wir seit kurzer Zeit in den Besitz der „experimentellen Nachweise für die diskrete oder körnige Natur „der Stoffe gelangt sind, welche die Atomhypothese seit Jahrhunderten, ja Jahrtausenden vergeblich gesucht hatte“. Z chwilą, kiedy przywódca szkoły energetycznej i antyatomistycznej z tak podziwu godnym zaparciem się siebie uznał słuszność sprawy, przez wiele lat namiętnie i wytrwale przez siebie zwalczanej, uciechła opozycja przeciwko teorii, którą dziś się zajmujemy.

Konsekwencje badań nad owymi mikroskopijnie drobnymi ruchami sięgają bardzo daleko. Sprzeczność między atomistyką a termodynamiką wyjaśniła się, ale w ten sposób, że pierwsza z nich zwyciężyła, a druga uznana została za regułę tylko przybliżenie ważną, tylko w grubszych zarysach obowiązującą. Ruch Browna jest takim „perpetuum mobile“ w bardzo małych zresztą rozmiarach, jakiego istnienie dawniej uważano za niemożliwe. W praktyce wprowadzić wytwarzanie tym sposobem użytecznej energii, kosztem ciepła otoczenia, na razie nie posiada widoków powodzenia wobec dzisiejszych środków technicznych. Ale jeżeli coś zależy tylko od wydoskonalenia środków technicznych, trudno wyrzec się nadziei urzeczywistnienia w przyszłości. Chodzi w tym przypadku tylko o zbudowanie przyrządu, który tak umiejętnie korzystałby z wahaniami się ślepego przypadku, jak to czyni np. loteria liczbową, przysparzającą rok rocznie państwu stałego dochodu. Przyznam się zatem, że osobiście zbudowania t. zw. perpetuum mobile („drugiego rodzaju“) wcale nie uważam za niemożliwe; dzisiaj jest już więcej takich fizyków, których do niedawna poczytano by za utopistów i heretyków.

Nadzwyczajnie ważną konsekwencją tych badań jest stwierdzenie roli przypadkowości w przyrodzie. Przypadkowe uderzenia cząsteczek wytwarzają owe ruchy Browna, tak dziwnie zygawkowate, które Gouy trafnie porównał do ruchu mrówek koło mrowiska. To samo można było też wykazać w pewnych innych zjawiskach.

Jak już poprzednio wspominaliśmy, przypadkowe okoliczności określają miejsce, które cząsteczka zajmuje chwilowo wśród całego zbiorowiska. Dlatego nie można przypuścić, żeby cząsteczki gazu lub cieczy były rozmieszczone całkiem regularnie, równomiernie; powinny występować miejscami przypadkowe nagromadzenia, miejscami rozrzedzenia. Wnioski, dotyczące tych przypadkowych nie-

równomierności, zostały stwierdzone przez Svedberga przez liczenie cząstek ultramikroskopijnych w koloidalnych roztworach. Pojedynczych atomów i cząsteczek zwykłych substancji nawet w nowoczesnych ultramikroskopach widzieć naturalnie nie można, ale można skonstatować obecność ich nagromadzeń miejscowych na podstawie zjawiska opalescencji, zbadanego po raz pierwszy przez Tyndalla. Chodzi tu o zjawisko powszechnie znane: promień światła, wpadający w ośrodek mętny, np. w wodę zaprawioną kilku kroplami mleka, staje się widoczny wskutek rozpraszania światła na owych mętach, podobnie jak pyłki unoszące się w powietrzu uwidaczniają drogę promienia słońca, wciskającego się przez szparę do ciemnego pokoju. Jeżeli szczątki mętów są bardzo drobne, wówczas światło, uginane w kierunku bocznym, zawiera przedewszystkiem barwy niebieskawe, a promień przechodzący przez środowisko mętne posiada barwę żółtawo-czerwonawą. Takim mętmem środowiskiem jest np. także minerał zwany *opalem*. Stąd pochodzą delikatne zabarwienia opalu, niebieskawe i czerwone, stąd też pochodzi nazwa opalescencji.

Otóż zjawisko to występuje także w gazach, w bliskości punktu krytycznego (oraz w roztworach, w t. zw. krytycznym punkcie rozpuszczalności) i dowodzi pewnej, że tak powiem, ziarnistości ośrodka, pochodzącej z owych przypadkowych zgromadzeń cząsteczkowych, które w punkcie krytycznym szczególnie silnie muszą się uwydatniać. W zwykłych warunkach gazy okazują także zjawisko opalescencji, choć w stopniu znacznie słabszym, tak że staje się ono widoczne dopiero w bardzo grubych warstwach. Jednak każdy z nas obserwował je niezliczoną ilość razy, gdy podziwiał błękit nieba lub żar wschodzącego słońca. Gdyby powietrze było środowiskiem zupełnie przezroczystym i jednorodnym, niebo także za dnia musiałoby być czarne, i tylko temu, że jest ono do pewnego stopnia ośrodkiem mętным, zawdzięcza niebo swoją jasność i błękitną barwę.

Jakież to są męty w atmosferze, które uginają światło? Lord Rayleigh, któremu zawdzięczamy podstawowe badania w tej dziedzinie, sądził początkowo, że chodzi tu o ciała obce, pyłki, kropelki mgły i t. p., ale z czasem zmienił zdanie; dzisiaj przekonujemy się, że owe ciała są tylko czynnikami ubocznymi i że nawet powietrze zupełnie czyste okazuje takie samo zjawisko. Co do kwestji, czy przypisać je należy pojedyńczym cząsteczkom powie-

trza, czy też wspomnianym nagromadzeniom, czy może elektronom zawartym w atomach, co do tego panują jeszcze pewne różnice zdań między różnymi uczonymi, którzy tym przedmiotem zajmowali się, jak Natanson, Langevin, Einstein, ale co do ogólnego znaczenia samego faktu nie ma żadnej wątpliwości. Błękit nieba dla każdego, kto umie czytać w księdze przyrody, jest oczywistym dowodem słuszności atomistyki, gdyż dowodzi on, że powietrze posiada strukturę ziarnistą.

Wspomnę o jednym jeszcze zjawisku z zakresu promieniotwórczości, w którym rola przypadku wybitnie występuje. Mam na myśli owe nieregularne, drobne zresztą wahania prądu elektrycznego, wzbudzanego w powietrzu przez obecność ciał promieniotwórczych (np. polonu), których istnienie pierwszy Schweidler w r. 1905 przewidział na podstawie obecnych naszych poglądów na promieniotwórczość, a Kohlrausch następnie doświadczalnie wykazał. Pochodzą one stąd, że wskutek przypadkowych okoliczności chwilowo nieco większa liczba atomów ciała promieniotwórczego, chwilowo znów mniejsza, podlega rozkładowi, połączonemu z wysyłaniem promieni. Takie same wahania występują i w statystycznych zjawiskach codziennego życia; z ludności Małopolski np. codziennie umiera przeciętnie 440 osób; ale będą oczywiście i takie dni, gdzie liczba wypadków śmierci będzie nieco większa, może 450, albo też mniejsza, może 430. Słuszność tej interpretacji została prawie namacalnie udowodniona przez przepiękne doświadczenia Rutherforda i Regenera, które umożliwiły bezpośrednie liczenie cząstek α , wysyłanych przez ciała promieniotwórcze.

Z wszystkiego tego wypływa następujący wniosek: kiedykolwiek obserwujemy zjawisko, w którym można wyróżnić wpływ pojedynczych cząsteczek lub atomów, albo niezbyt licznych ich gron, zauważymy w niem zawsze przypadkowe nieregularności. Bez względu, ścisła prawidłowość zjawisk przyrody jest tylko pozorem, jest tylko statystycznym wynikiem prawa wielkich liczb. Stosuje się to przede wszystkim do termodynamiki, ale niewątpliwie z czasem niejedno jeszcze inne prawo fizyki ulegnie podobnemu losowi. Zasadniczą metodą rozumowania w naukach ścisłych stanie się rachunek prawdopodobieństwa, mimo, że podstawowe pojęcia tej gałęzi matematyki, jak pojęcie przypadku, do dziś dnia nie są jeszcze wyjaśnione zupełnie zadowalniająco. Wobec perspektywy tych komplikacji odczuwamy tem żywiej bolesną skargę Fouriera, że przy-

roda jest tak zupełnie obojętna na trudności, które sprawia matematykom.

Mówiąc o uzasadnieniu samych podstaw teorii atomistyczno-kinetycznej, wspomnieć trzeba jeszcze o innym rodzaju zjawisk, stanowiącym również argument zasadniczy na jej korzyść. Jeżeli materia jest ciągła, bez struktury, każda jej część będzie posiadała te same właściwości jak całość; jeżeli jednak posiada strukturę atomistyczną, jeżeli zatem właściwości jej są wynikiem wzajemnego oddziaływania wielkiej liczby atomów lub cząsteczek, wtedy cienkie warstwy, których grubość odpowiada strefie działania jednej cząsteczki, muszą zachowywać się odmiennie niż materia w całości. Podobnie np. kawał płótna odznacza się zupełnie inną rozciągliwością niż pojedyncze włókno; piasek w worku jest sypki, podatny, podczas gdy pojedyncze ziarno jest twarde, niepodatne.

Która z tych dwóch alternatyw zachodzi, o tem stosunkowo łatwo można przekonać się w przypadku gazów, gdyż w gazach cząsteczki znajdują się w stosunkowo znaczniejszych odstępach i wskutek tego ruchy ich są pokąźniejsze. Sferą działania każdej cząsteczki jest nie tylko to miejsce, które ona faktycznie zajmuje w danej chwili, lecz miejsce, dokąd sięga bezpośredni wpływ jej ruchów, t. zw. swobodna droga; tak samo jak sferą działania zręcznego tenisisty jest nie tylko przestrzeń zajęta przez jego ciało, lecz obręb jego ruchów i skoków. Ten odstęp, określający obręb ruchów cząsteczki, wynosi w powietrzu w zwykłych warunkach $\frac{1}{10000}$ milimetra, ale wzrasta w miarę rozrzedzenia powietrza, tak że w powietrzu rozrzedzonym staje się wygodnie dostępny dla bezpośrednich doświadczeń. Cóż było rezultatem tych doświadczeń? Wykazały one prawie namacalnie słuszność teorii kinetycznej, gdyż w tak cienkich warstwach gazu zjawiska lepkości, przewodnictwa cieplnego, a nawet prężności gazowej przebiegają istotnie w całkiem odmienny sposób niż w grubych warstwach gazu, i to w sposób ilościowo zgodny z przewidywaniem teoretycznym¹⁾.

Dotychczas omawiałem obszerniej badania ostatnich kilkunastu lat, które stanowią bezpośrednie umocnienie podstaw teorii o atomistycznym składzie materji i odparcie zarzutów przeciwko niej podnoszonych. Może jeszcze bardziej jednak przyczyniły się do po-

¹⁾ Wypowiedziałem kiedyś twierdzenie, że również prawa dyfuzji muszą być odmiennie w tak cienkich warstwach.

wszechnego jej uznania w ostatnich czasach postępy na innym polu fizyki, które pociągnęły za sobą olbrzymie rozszerzenie zakresu atomistyki i w następstwie głęboko idące w niej przemiany.

Wiadomo, że dziś na całej linii zwyciężył pogląd, że elektryczność nie jest także *fluidum* ciąglem, jak dawniej mniemano, lecz że posiada strukturę atomistyczną, że jest złożona z cząstek elementarnych, zwanych *elektronami*. Pogląd ten, początkowo nieśmiało wygłaszany przez Crookesa, Helmholtza, J. J. Thomsona, Lorentza, jako hipoteza przeciwna ówczesnym tradycyjnym zapatrywaniom, okazał się do tego stopnia zwycięskim w tłumaczeniu nowo odkrytych zjawisk promieniotwórczości, zjawiska Zeemana i t. p., a równocześnie tak świetnie wyjaśniał różne problemy dawniejsze, że w ciągu kilku lat (1896—1902) został niemal jednogłośnie przyjęty. Chcąc podać powody i dowody, trzeba by przedstawić niemal cały dorobek naukowy ostatnich kilkunastu lat, tak wszystko wiąże się na tej podstawie w jedną całość logiczną. Rozwój nauki w takich chwilach przypomina ową zabawkę dzieciinną, polegającą na składaniu deszczułek powycinanych w rozmaite figury z naklejonemi obrazkami. Długo trzeba próbować, aż znajdzie się kilka kawałków do siebie należących, ale gdy raz początek jest zrobiony, dalsze deszczułki niejako automatycznie do nich się dołączają; to jest cechą charakterystyczną dobrej teorii naukowej, że ona odrazu w nowem świetle przedstawia szereg pozornie różnorodnych zjawisk, wykazując ich prostą, wewnętrzną łączność.

Szczegół dla naszego tematu najdonioślejszy jest ten, że różne drogi argumentacji zniewalają nas zgodnie do założenia, iż cząstki ujemnej elektryczności, krótko mówiąc elektrony, posiadają masę przeszło tysiąc razy mniejszą od masy atomu wodoru i nabój elektryczny wynoszący około $4.8 \cdot 10^{-10}$ jednostek elektrostatycznych. Ażeby sobie uprzytomnić małość tych atomów elektrycznych, zważmy, że przez zwykłą żarówkę musi ich przepływać co sekundę koło 10 tryljonów. Nie jest-że to zdumiewające, że jednak tak nadzwyczajnie drobne cząstki elektryczności są dostępne naszym pomiarom; że można je odosabniać i nad niemi dokonywać doświadczenia. [Wskutek takich doświadczeń przed kilkoma miesiącami teoria elektronowa przechodziła ciężkie przesilenie, gdy Ehrenhaft, mierząc naboje elektryczne drobnych cząstek metali, rozpylonych przez łuk elektryczny w powietrzu, znajdował naboje najrozmaitszych wielkości, nawet znacznie mniejsze niż ów jakoby niepodzielny nabój

elektronowy. Wydoskonalone znacznie doświadczenia Millikana oraz Regenera wykryły jednak wadliwości pomiarów Ehrenhafta i stwierdziły, że istnieją tylko naboje podanej wielkości, lub 2, 8, 4 i t. d. razy większe, że nie istnieją wartości ułamkowe, elektrony występują więc istotnie jako jednostki niepodzielnej.

Rzućmy teraz okiem wstecz, na zmiany naszych poglądów na istotę atomu, spowodowane przez wszystkie odkrycia, które właśnie omawialiśmy. Bodać czy nie jedyną cechą charakterystyczną dawnej atomistyki, która do dziś dnia przetrwała, nie wywoławszy dotychczas gruntownej dyskusji, jest pogląd, że wszystkie atomy pierwiastka chemicznego są sobie ściśle równe, że są według wyrażenia Herschela: „jakby towarem fabrycznie sporządzonym“.

Jaki to jest towar? Dawniejsi fizycy, jak Clausius, wyobrażali sobie atomy i cząsteczki jako ziarna materji, jako niezmiennie ciała stałe w rodzaju kul bilardowych; dziś jeszcze z poglądem takim co chwila się spotykamy, zwłaszcza w dziedzinie chemji. Niektórzy nie tylko obliczają objętości tych atomów, ale wnioskują też o gęstości ich substancji. Dochodzi się przytem jednak do sprzeczności: zależnie od temperatury i innych okoliczności wynikają wartości różne, jak gdyby objętość tych ziarn była zmienna. Dlatego też dawno już, w roku 1866, Maxwell wystąpił przeciwko temu pojęciu i (po części odnawiając poglądy atomistyczne Boscovicha, jezuita, dalmatyńczyka, urodzonego 1711 r. w Raguzie) wygłosił hipotezę, że raczej uważać należy cząsteczki za punkty materialne bez rozciągłości, działające na siebie siłami odpychającymi przy zbyttniem zbliżeniu. Dzisiaj mamy dowody oczywiste, że atomy nie mogą być stałemi ziarnkami materji; wszak t. zw. promienie katodowe, a zwłaszcza promienie β , składające się z elektronów, wystrzelonych z wielką prędkością, na wskróś przenikają przez nie i tylko w nieznacznej części ulegają rozpraszaniu. Co więcej, promienie α (atomy helu, zaopatrzone nabojem elektrycznym dodatnim i wystrzelone przez ciała promieniotwórcze z prędkością kilku tysięcy kilometrów na sekundę) przechodzą również na wskróś przez atomy innych substancyj.

Cóż zatem stało się z tradycyjną legendą o nieprzenikliwości materji, jako jednej z zasadniczych jej właściwości! Nie chodzi tu o przenikanie atomów przez przestrzeń wolną pomiędzy innemi atomami (jak przy dyfuzji), lecz o przenikanie jednych na wskróś przez drugie. Udać się to tylko wtedy, gdy jedno na drugie rzu-

camy z tak olbrzymią prędkością, jak w owych wyżej powołanych przypadkach; inaczej siły odpychające przeszkodzą zbyt niemu zbliżeniu. W nadzwyczajnie zajmujących badaniach Geiger zdołał wykazać, że cząstka α , przechodząc przez atom złota, odchyła się od pierwotnego kierunku przeciętnie tylko o dwóchsetną część stopnia. Materja musi zatem posiadać budowę nadzwyczajnie wiotką, przezroczystą, nakształt chmury, a nieprzenikliwość jest tylko pozorem, pochodzącym od sił między cząstkami działających.

Porzuciliśmy dzisiaj także hipotezę, że atomy są punktami materialnemi, wywierającemi pewne siły, jako zbyt prostą. Atomy nie mogą być czemś jednolitem, prostem; muszą posiadać jeszcze budowę wewnętrzną z części składowych złożoną; wskazują to przede wszystkim zasadnicze fakty analizy widmowej, jak złożoność widma pierwiastków chemicznych. Przypuszczenie to stało się pewnością, gdy zjawiska promieniotwórczości dowiodły, że atomy pewnych substancji, jak uranu, radu, polonu, toru i t. d., z czasem samodzielnie rozkładają się, że one rozpadają się, kruszeją z czasem jak budowa chyląca się ku ruinie; przytem okrucy odpadające są to owe cząstki naelektryzowane, stanowiące promienie α i β . Po okrucach poznać można, z czego budowa się składa. Cóż więc naturalniejszego niż przypuścić, że to są właśnie owe cegielki, z których atomy są wybudowane. W jaki sposób ta budowa jest skonstruowana, to na razie jeszcze nie jest wyjaśnione. Trudność polega na tem, że atom elektrycznie neutralny musi zawierać równie wiele dodatniej jak ujemnej elektryczności; znany obecnie wprawdzie dokładnie atomy ujemnej elektryczności, owe elektrony, których masa jest drobną częścią masy atomu wodoru, ale o wiele bardziej zagadkowa jest istota dodatniej elektryczności, gdyż w promieniach α występuje tylko w porcjach stosunkowo dużych i nie dała się dotychczas rozdzielić na drobne cząstki.

Początkowo przypisywano bezwładność atomów elektronom ujemnym, musiano zatem przypuścić, że tysiące ich są zawarte w jednym atomie. Obecnie różne badania z zakresu promieniowania wskazują, że liczba elektronów ruchomych i biorących udział w zjawiskach optycznych jest stosunkowo mała. Powstaje kwestja, czy przeważna część elektronów jest tak sztywno przygwożdżona we wnętrzu atomu, że nie wchodzi w rachubę w owych zjawiskach, czy też wogóle liczba elektronów w atomie zawartych jest mała, co zgadzałoby się z wynikami badań Sir J. J. Thomsona a

i Crowthera nad rozpraszaniem promieni β przez materję. W takim razie bezwładność atomu musiałaby pochodzić głównie z jego elektryczności dodatniej. Na tle tych zagadnień wyrosły nadzwyczajnie zajmujące próby obmyślenia modelu atomu, podjęte przez Thomsona i Starka. Fantastyczne mogą wydawać się uczonym starej szkoły takie spekulacje, ale nie są one bezpłodne. Przeciwnie, każdy niemal zeszyt *Philosophical Magazine* przynosi nam wiadomość o nowych odkryciach, tą drogą rozumowania dokonanych; to daje nam wiarę w ich wartość realną.

Z jakim entuzjazmem uprawiane są dzisiaj spekulacje atomistyczne, świadczy o tem jeszcze jeden szczegół. Pierwszorzędni fizycy rozważają obecnie, czy energja nie składa się może z cząstek elementarnych. Czy w przyszłości podziwiać będziemy genialność tych twórców teorii o istnieniu atomów energii, czy też potępiać wybrki lekkomyślnego dziwactwa, któż dzisiaj przewidzi? I w nauce, jak na wojnie, rozstrzyga o sławie nie tyle zasługa, ile powodzenie.

Gdy rozważamy ostatnią fazę atomistyki z ogólniejszego punktu widzenia, nasuwają się dwie ogólne uwagi. Po pierwsze, że triumf atomistyki równocześnie wykazał niedorzeczność słowa „atom“ (nie-działka) albo raczej wadliwość dawniejszego pojęcia atomu, gdyż atomy chemiczne okazały się złożone i podzielne. Dlatego też świadomie wystrzegalem się dzisiaj podania wyraźnej definicji pojęcia atomu, gdyż definicje dawniejsze byłyby dzisiaj nieodpowiednie. Zaznaczyć wypada tylko, że za zasadniczą myśl atomistyki uważamy dziś w fizyce hipotezę o strukturalności, o złożoności materji lub elektryczności z części oddzielnych, a nie zastrzegamy się bynajmniej, czy te części odrębne, owe atomy, elektrony, owe „archiony“ Starka, nie są jeszcze czemś złożonem z cząstek prostszych.

Powtóre, przejawia się w tej dziedzinie tendencja nowoczesna tłumaczenia zjawisk materialnych przez zjawiska elektryczne, tendencja antymaterialistyczna, albo — może wolno mi będzie ukuć ten wyraz — „elektrystyczna“. Podczas gdy dawniej próbowano rozumieć zjawiska elektryczne, interpretując je jako rodzaj ukrytych ruchów eteru, dziś nawet hipotezę o istnieniu eteru zaczynamy uważać za przestarzały przesąd; w tem, co nazywamy właściwościami materji, upatrujemy objawy zjawisk elektrycznych.

Takie przemiany, jakich fizyka już wielu doznała, jakkolwiek rewolucyjny mają pozór, nie są bynajmniej zaburzeniem tego, co

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 wspólniejszej 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 chemię, 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