

V. DZISIEJSZY STAN TEORJI ATOMISTYCZNEJ.

Odczyt wygłoszony na kursach uzupełniających dla nauczycieli we Lwowie, dn. 12. marca 1913 r. — Kosmos, tom XXXVIII, str. 355—373. 1913.

Spróbujmy wmysleć się na chwilę w położenie historyka, który w kilkadziesiąt lat po nas będzie opisywał dzieje nauk ścisłych doby dzisiejszej. Ostatnie dwudziestolecie, na przełomie z dziewiętnastego na wiek dwudziesty, będzie mu się przedstawiało jako okres świetnego rozwoju nauk ścisłych, w szczególności fizyki, okres pełny odkryć nadzwyczajnych. Fale elektromagnetyczne i telegrafia bez drutu, uprzystępnienie niskich temperatur przez skroplenie wodoru i helu, osiągnięcie (w ostatnich czasach) temperatury — 272°C . odległej o jeden stopień od bezwzględnego zera, odkrycie promieni Röntgena, poznanie istoty promieni katodowych, odkrycie promieni ciał promieniotwórczych, odkrycie zjawiska Zeemana: wszystko to są odkrycia pierwszorzędne w historii nauk. Jeżeli ów historyk będzie umysłem głębszym, nie zadowolni się zarejestrowaniem tych faktów zewnętrznych, po części nawet przypadkowych, lecz będzie dążył do tego, żeby zdać sprawę z ukrytych sprężyn rozwoju naukowego, z ogólnych prądów umysłowych, objawiających się w nauce; to jest dopiero właściwa historia nauki. Jakie tedy kierunki naukowe w fizyce uderzą go, jako wybitne cechy, charakteryzujące ten okres czasu?

Gdybym miał opisać kilku słowami fazę rozwoju fizyki w tym czasie, powiedziałbym, że jest to: odrodzenie atomistyki, połączone z elektryzacją fizyki; ogólnym tłem tego ruchu jest powrót do spekulacyjnego romantyzmu naukowego. Będę się starał wyjaśnić te wyrażenia, dając, z tego punktu widzenia, pogląd na obecny stan fizyki teoretycznej.

Mówiąc o odrodzeniu atomistyki, tem samem już zaznaczamy, że poprzedzający okres był okresem względnego upadku albo przy-

najmniej ponieważ atomistyki. Tak istotnie było. Pod koniec dziewiętnastego wieku górowała w świecie naukowym opinia, że atomistyka i wraz z nią tak zwana teoria kinetyczna materji jest przeżytkiem, że jest to teoria na zagładę skazana. Słynny fizyk i filozof Mach, tak zasłużony około filozoficznego pogłębienia nauk ścisłych, zwalczał atomistykę jako bezpodstawną spekulację. Profesor Ostwald, wówczas niezaprzeczenie pierwszą rolę odgrywający w chemji fizycznej, stworzył kierunek „energetyczny“, który upatruje w pojęciu energii jedyną rzeczywistość, zatem wielbi termodynamikę, jako naukę o energii, a potępia mechaniczny pogląd na świat, a wraz z nim pojęcie atomów i cząsteczek. Podobną rolę we Francji odgrywał Duhamel. Za tymi przywódcami szła rzesza innych uczonych i uczniów. Jako charakterystyczny szczegół podniosę, że po ukazaniu się dzieła Boltzmanna „Vorlesungen über Gastheorie“ w roku 1898, w niemieckiem czasopiśmie naukowem pojawiło się sprawozdanie o takim brzmieniu: „teoria kinetyczna, jak wiadomo, jest tak samo błędna, jak różne mechaniczne teorie grawitacji, zwłaszcza błędnie pojmuje ona zasadę zachowania energii; jeżeli ktoś jednak koniecznie chce się z nią zapoznać, niech weźmie do ręki dzieło Boltzmanna“. Jest to rzeczą pouczającą śledzić zmienne losy teoryj naukowych; są one ciekawsze od zmiennych losów ludzi, każda z nich bowiem zawiera w sobie coś nieśmiertelnego, choć cząstkę wiecznej prawdy. Jakież był powód owej walki przeciwko teorii atomistyczno kinetycznej? Poniekąd była to usprawiedliwiona reakcja przeciwko pseudo-naukowym wybujałościom, które wyrosły na tle atomistyki. Pojęcia atomów i molekuł wydają się proste, zrozumiałe; teoria atomistyczna nadaje się pozornie doskonale do popularyzacji. Popularyzacja jest jednak niebezpieczna, jeżeli podejmują się jej niepowołani. Tem zaś, co na polu atomistyki nagrzeszono, poczynawszy od pseudo-filozoficznych dzieł, jak sławetna książka Büchnera „Kraft und Stoff“, aż do podręczników szkolnych, tem możnaby zapełnić tomy. Jako odstraszący przykład, który Panów jako nauczycieli może interesować, przytoczę pewien, także u nas, zwłaszcza w Królestwie, używany podręcznik szkolny, w którym nauka fizyki rozpoczyna się dogmatycznym wygłoszeniem definicij, co to jest materja, atom, molekula. Są to definicje przeważnie bez wartości naukowej, w każdym razie dydaktycznie chybione, np.: „Co to jest ciało? Ciało jest to jakakolwiek ilość materji złożona z molekuł“. — „Zmiana fizyczna jest to taka

zmiana, przy której natura molekuł się nie zmienia". — „Co to jest ciało stałe? Takie ciało, którego molekuly tylko z trudnością mogą zmienić swe położenie". Każdy pedagog zrozumie, że nauka fizyki powinna rozpocząć się od poznawania zjawisk fizycznych, a nie od włączania w dziecinne umysły teoryj, choć zresztą może racjonalnych. Teoria atomistyczna nie powinna być podstawą nauki szkolnej, lecz jej ostatnim szczyblem, dostępnym dopiero dla umysłów dojrzalszych, które już poznały zjawiska konkretne i potrafią zrozumieć znaczenie hipotez i teoryj. Przedewszystkiem jednak definicje opierać się powinny na zjawiskach dostrzegalnych, a nie na pojęciach teoretycznych.

Z reakcją przeciwko pedagogicznym i naukowym wybujałościom materialistycznej atomistyki łączył się ogólny prąd naukowo-filozoficzny, który nazwać można „fenomenalizmem". Przedstawiciele tego kierunku, Mach, Duhem, po części też Clifford, Pearson i inni, głosili zasadę po części słuszną, że ostatecznym i jedynym celem fizyki jest: poznanie prawidłowości dostępnych nam zjawisk, nie zaś poznanie wiecznie ukrytej istoty wszechrzeczy. Badacze zatem zjawiska fizyczne, mówili, starajcie się opisać je za pomocą równań matematycznych; spekulacje sięgające głębiej, poszukiwania ukrytych mechanizmów zjawisk są zgubne, są marnotrawieniem sił i czasu. Ogólnem hasłem było: „precz ze spekulacjami teoretycznymi!" Zapomniano, że te spekulacje były zawsze najpotężniejszym bodźcem postępu w nauce, że one jedynie wskazyują nowe drogi badania. Zapanował w nauce prąd przesadnie krytyczny, możnaby powiedzieć: technicznie trzeźwy. Niełatwo obciążyć skrzydła umysłu ludzkiemu; ale kto nie mógł powstrzymać się od spekulacji, przynajmniej powstrzymywał się od ogłaszania ich publicznie. Pamiętam, jak sam przez długi czas wahałem się i ociągałem z ogłoszeniem moich przyczynków do teorii kinetycznej. Prąd ten zwracał się przedewszystkiem przeciwko najpotężniejszej teorii, jaką dotychczas nauka wydała, t. j. teorii atomistycznej. Kto wie, jak długo ów jałowy nastrój byłby potrwał, gdyby nie były przyszły, w krótkich odstępach czasu, wstrząsające odkrycia Röntgena, Becquerela, małżonków Curie, Zeemana i wiele innych badań, które z jednej strony wykazywały, ile jeszcze jest rzeczy pod niebem, o których dotychczas nie śniło się filozofom, a z drugiej strony udawadniały wartość hipotez naukowych, zwłaszcza teorii atomistyczno-elektronowej.

Dla wytłumaczenia ówczesnego upadku atomistyki naszkicowałem tu kilku słowami ogólny nastrój umysłowy owej epoki; byłoby to wystarczające, jako tło psychologiczne, gdyby nam chodziło o prądy w filozofii, literaturze lub sztuce. Ale wyznawcy nauk ścisłych są to ludzie twardzi, uparci w swych dążeniach, którzy nie ustępują pod wpływem ogólnych nastrojów, dają się zaś przekonać tylko argumentami namacalnymi. Istniały owóż bardzo poważne argumenty faktyczne, przemawiające wówczas przeciwko atomistyce i wywołujące zniechęcenie do tego kierunku. Roztrząsaniem tego przedmiotu zajmujemy się obecnie nieco szczegółowiej, gdyż stanowi on jądro najważniejszych zagadnień związanych z atomistyką i teorią kinetyczną.

Może przy tej sposobności wolno mi nawiasowo wytłumaczyć, czemu tych nazw do pewnego stopnia używam jako synonimów, pomimo, że właściwe znaczenie terminów: teoria „atomistyczna" i „kinetyczna" jest różne. Wiadomo, że dawna atomistyka Daltona wzbogaciła się, od czasów sformułowania zasady zachowania energii, dodatkowem przypuszczeniem, że atomy i cząsteczki znajdują się w bezustannym ruchu, że ciepło jest zapasem energii kinetycznej, a miarą energii kinetycznej tych ruchów wewnętrznych jest to, co nazywamy temperaturą. Od czasów Roberta Mayera i Helmholtza, atomistyka zlała się zatem z teorią kinetyczną w jednolitą całość. Zarzuty, o których wspominałem, odnoszą się właśnie do zasadniczego postulatu wszelkiej teorii kinetycznej: do odwracalności zjawisk mechanicznych.

Jeżeli rzucimy kamień z punktu *A* do punktu *B*, to też odwrotnie można z punktu *B* rzucić ten kamień do punktu *A*; będzie on przebiegał ten sam tor, z temi samymi prędkościami, tylko w kierunku przeciwnym. Co prawda, jest to tylko ważne, gdy pomijamy siły rozpraszające energię, jak tarcie albo opór ośrodka. Odwracalność jest zasadniczą własnością wszelkich ruchów, które odbywają się pod działaniem sił konserwatywnych. Matematyk rozumie to natychmiast, ponieważ w Newtonowskich równaniach ruchu występuje wówczas czas tylko w pojęciu przyspieszenia, jako $(dt)^2$; zatem równania pozostają niezmiennione, jeżeli element czasu dt zastąpimy znakiem ujemnym. To znaczy, że wszystkie ruchy konserwatywne mogą odbywać się również w porządku odwróconym: od stanu końcowego ku położeniu początkowemu. W teorii kinetycznej musimy przypuszczać wyłącznie konserwatywne siły między

atomami czy molekułami; tego wymaga zasada zachowania energii; wynika zatem, że wszystkie zjawiska atomistyczno-molekularne muszą być w zasadzie odwracalne.

Jeżeli jest prawdą, że ciała składają się z poruszających się atomów i cząsteczek, czemu nie widzimy nigdy np. konia biegnącego wstecz, jak lokomotywa może jechać wstecz? Czemu nie zdarza się nigdy, jeżeli wszystko jest odwracalne, żeby stary człowiek młodził, z czasem stał się młodzieńcem, dzieckiem, niemowlęciem? W tych przypadkach chodzi o skomplikowane istoty, żyjące; można by sądzić, że one podlegają prawom odmiennym; jednakowoż i w przyrodzie martwej spotykamy na każdym kroku t. zw. zjawiska nieodwracalne. Naczelne prawo termodynamiki, t. zw. druga zasada, brzmi w słowach Clausiusa: „ciepło nie może samo przez się przejść z ciała zimniejszego do cieplejszego“. Pręt żelazny, jednym końcem ogrzany, wyrównywa z czasem swoją temperaturę, ciepło z części cieplejszej przepływa ku zimniejszej. Nigdy natomiast nie obserwujemy zjawiska odwrotnego, ażeby pręt, mający początkowo jednakową temperaturę, bez zewnętrznego powodu, sam przez się jednym końcem się ogrzał, a drugim oziębił. Rzucając kamień do stawu, widzimy podobnie, że kamień z czasem traci energię kinetyczną, ściślej mówiąc, zamienia ją w ciepło wskutek tarcia o wodę, a sam opada na dno stawu; nikt nie widział jeszcze zjawiska odwrotnego: ażeby kamienie, leżące na dnie stawu, same przez się wylatywały w powietrze. Wlewając wino do wody, widzimy, że ciecze mieszają się; nawet bez naszej pomocy z czasem wytworzy się — wskutek dyfuzji — jednorodna mieszanina. Nigdy nie zauważymy zjawiska przeciwnego, samodzielnego rozdzielania się wodnistego wina na wodę i wino czyste.

Nieodwracalność zjawisk dyfuzji, przewodnictwa cieplnego, tarcia wydaje się oczywista, ale termodynamika jeszcze wzmacnia naszą wiarę w nią, dowodząc, że, gdyby owe zjawiska dały się odwrócić, możliwe byłoby skonstruowanie perpetuum mobile, co fizyka nowoczesna uważa za wykluczone. Mamy więc sprzeczność: teoria kinetyczna nie może być słuszną, ponieważ według niej przy każdym z owych zjawisk równie możliwy musiałby być przebieg odwrotny.

Wielu uczonych dało się odstraszyć tą argumentacją. Naprawdę Boltzmann starał się sprawę wyjaśnić, tłumacząc, że zjawisko odwrotne jest wprawdzie możliwe, ale jest niezmiernie nieprawdo-

podobne. Dlaczego, powiadano, przebieganie zjawiska w jednym kierunku miało być bardziej prawdopodobne niż w przeciwnym? Dzisiaj doszliśmy do przekonania, że Boltzmann miał słusność, usuwając pozorną sprzeczność przez wprowadzenie pojęcia prawdopodobieństwa; równocześnie pogłębiłmy jego pomysły i poznaliśmy niemal namacalne dowody ich prawdziwości.

Zrozumiemy to najlepiej, rozważając prosty przykład, do którego reguły prawdopodobieństwa niewątpliwie stosują się. Wyobraźmy sobie pudło, które, prawie do połowy, wypełniamy kuleczkami białymi a następnie jednakową liczbą takich samych kuleczek czerwonych. Możemy te kuleczki tak starannie ułożyć, że wszystkie białe znajdować się będą w jednej połowie, wszystkie czerwone w drugiej połowie pudełka. Jeżeli jednak pudełkiem będziemy potrząsali, porządek ten będzie się zacierał, nastąpi stopniowe zmieszanie, tak że z czasem w każdej części mniej więcej jednakowo znajdą się liczby białych i czerwonych kuleczek. Stan z mieszanina jest oczywiście prawdopodobniejszy niż stan początkowy, uporządkowany, tak samo jak przy rozdawaniu kart między czterech graczy prawdopodobniej każdy otrzyma karty różnych barw; chyba nadzwyczaj rzadko zdarzy się, żeby wszystkie karty gracza miały tę samą barwę. Jest tu analogia z winem i wodą w naczyniu, które wskutek wewnętrznych ruchów cząsteczkowych z czasem się mieszają. W prawdopodobieństwie istnieją jednak tylko różnice stopniowe, każdy możliwy przypadek posiada pewne prawdopodobieństwo i z czasem musi się przytrafić. Jeżeli gracz całe życie poświęca grze w karty, niewątpliwie przytrafi im się kiedyś i taki przypadek, że jeden dostanie same *coeur*, drugi *carreau*, trzeci *trèfle*, czwarty same *pique*. Tak samo fizyk, obserwujący bezustannie mieszaninę wina i wody, kiedyś musiałby zauważyć, że, choć na chwilę, wino oddzieli się samo przez się od wody czystej. Ale jak rzadko występuje takie anormalne zjawisko, to zależy od liczby kart, kuleczek, cząsteczek cieczy. Im większa ich liczba, tem mniejsze prawdopodobieństwo zdarzenia anormalnego; jest to słynne „prawo wielkich liczb“. Istotnie, na podstawie teorii prawdopodobieństwa twierdzić możemy, że automatycznego rozdzielania się kieliszka wina wodnistego na czyste wino i czystą wodę nie zauważono by zapewne ani razu w okresie czasu równym t. zw. wiekowi ziemi (100 mil. lat); pochodzi to od olbrzymiej liczby molekuł udział biorących w zjawisku.

To wyjaśnia pozorną sprzeczność. W zasadzie wszelkie zjawiska atomistyczno-cząsteczkowe są odwracalne. Że zaś istnieją kategorie zjawisk, które uważamy za nieodwracalne, pochodzi stąd, że w praktyce wychodzimy ze stanu początkowego uporządkowanego, nadzwyczaj nieprawdopodobnego z punktu widzenia teorii kinetycznej; że zazwyczaj o wiele za krótki czas obserwujemy zjawisko, aby móc zauważyć jego powrót do wyjątkowego stanu początkowego. W naszej krótkowzroczności jesteśmy podobni do kwiatów, które na wiosnę budzą się pod wpływem wzrastającego ciepła słonecznego i podczas krótkiego życia zapewne uważają to za dogmat, że: „klimat wszechświata ze stanu zimniejszego przechodzi w stan cieplejszy“. O tem zaś, że kiedyś znów powróci jesień i zima, nie dowiedzą się nigdy.

Atomistyczno-kinetyczny punkt widzenia zgadza się zatem tak dalece z zasadami termodynamiki, o ile chodzi o stosunkowo niezbyt długi czas obserwacji, choć dla zjawisk długotrwałych, kosmicznych, wynikają diametralnie przeciwne konsekwencje. Clausius twierdził na podstawie empirycznej termodynamiki, że entropja wszechświata bezustannie wzrasta, że zatem wszechświat z czasem musi przejść w stadium martwoty, w słynny „Wärmetod“, w którym wszelka energia potencjalna zamieni się w ciepło i wszystkie różnice temperatur się wyrównają. Teoria kinetyczna przeciwnie twierdzi, że po stadium martwoty znów wystąpi nowe życie, gdyż wszystkie stany w wiecznym korowodzie z czasem porwają.

Wobec tych wywodów wrogowie atomistyki mogą powiedzieć: przyznajemy, że sprzeczność odnosząca się do istnienia zjawisk nieodwracalnych jest tylko pozorną, gdyż z powodu wielkiej liczby cząsteczek, z powodu względnej krótkości czasu obserwacji (z punktu widzenia teorii kinetycznej) nie możemy spodziewać się, żeby zjawiska sprzeczne z termodynamiką dały się zauważyć w codziennej praktyce. Stąd nie wynika jeszcze wcale, żeby atomistyka miała mieć słusność w przepowiadaniu zjawisk, niezgodnych z codzienną empirją, na długą metę. Pokażcie nam przykład, w którym t. zw. zjawisko nieodwracalne przebiegłoby w kierunku odwrotnym. Takich właśnie przykładów poznano szereg w ostatnim dziesięcioleciu; to jest wielki postęp, to jest zwycięstwo teorii kinetycznej nad dotychczasową termodynamiką, zwycięstwo spekulacji nad krótkowzrocznym empiryzmem. Gdzie takich przykładów szukać na-

leży, zrozumiemy już na podstawie tego, co dotychczas rozważaliśmy: w świetle mikroskopijnym. Tem prędzej natrafimy na zjawisko anormalne, mało prawdopodobne, czyli odchylające się od prawa wielkich liczb, im mniejsza jest liczba cząsteczek w niem udział biorących. Żeby w kieliszku wina wystąpił rozdział na składowe substancje czyste, jest to rzeczą ogromnie nieprawdopodobną; natomiast możemy spodziewać się, że częściowy rozdział zauważymy w najmniejszych, mikroskopijnie dostrzegalnych jego częściach. Szwedzki chemik Svedberg obserwował przed kilku laty koloidalny roztwór złota, w którym pod ultramikroskopem zauważyć można pojedyncze cząstki złota jako świecące, bezustannie poruszające się punkciiki. Liczba tych punkciików, zawartych w polu widzenia mikroskopu, czyli koncentracja złota zmienia się ustawicznie, to wzrasta, to maleje, wciąż wahając się koło pewnej średniej wartości. Tu widzimy owo automatyczne mieszanie i rozdzielanie się roztworu. Stwierdzono również ilościowo ważność wzorów tego zjawiska, poprzednio już wyprowadzonych na podstawie teorii prawdopodobieństwa.

Sam ruch, które cząstki złota wykonywają, jest drugim przykładem zjawiska sprzecznego z tradycyjną termodynamiką. Jest to t. zw. ruch Browna, zjawisko odkryte już w wieku XVIII-ym, nieco bliżej zbadane przez angielskiego botanika Browna w r. 1827, odtąd niezmiernie często obserwowane, ale (mimo wszelkich wysiłków) niewytłumaczone, aż dopiero w ostatnich latach teorii kinetyczna dała klucz do jego zrozumienia. Można je łatwo zauważyć przy pomocy zwykłego mikroskopu, obserwując preparat zawierający zawieszoną drobnych cząstek w cieczy. Najlepiej do tego nadaje się gumiguta, żółta farba akwarelowa, której odrobinę w wodnym roztworze umieścimy między szkiełkami mikroskopu. Widzimy, przy dostatecznem powiększeniu, obraz zadziwiający: cząstki gumiguty, drobnutkie kuleczki, wykonywają ruchy bezustanne; trzęsą się, jak mrówki krzątające się koło mrowiska; gdy powiększenie jest mniejsze, wygląda to jak rój komarów tańczących. Ruchy te są niezależne od wpływów zewnętrznych i w ścisłym znaczeniu słowa są nieustanne. Wiemy dzisiaj, że powstają one wskutek uderzeń, wykonywanych przez molekuly cieczy otaczającej; wiemy, że jest to bezpośrednia ilustracja ruchów cieplnych molekuł, owej agtacji termicznej, wspólnej wszystkim ciałom o strukturze cząsteczkowej. Dowodem tego jest nie tylko wygląd zjawiska, jego trwałość

i niezależność, ale ścisła ilościowa zgodność pomiarów nad niem wykonanych z obliczeniami, opartymi na teorii kinetycznej. Perrin, Dąbrowski, Svedberg i inni sprawdzili doświadczalnie wzory teoretyczne we wszystkich szczegółach, co do zależności zjawiska od czasu, rozmiarów ziarn, temperatury i rodzaju cieczy użytej. Zajmująca jest też pewna modyfikacja tych doświadczeń: jeżeli obserwuje się rozmieszczenie cząstek gumiguty w przekroju pionowym, ponad dnem naczynia. Cząstki, mimo, że są cięższe od wody, przecież nie opadają wszystkie na dno, jak kamień rzucony do stawu; wskutek swych bezustannych ruchów odbijają się od dna naczynia i tworzą 'nad niem warstwę, na dole najgęstszą, ku górze coraz rzadszą, tak samo jak atmosfera ziemiska (pod wpływem ciężkości) największą przybiera gęstość u powierzchni morza, a ku górze staje się coraz rzadsza. Istnieje tu ścisła analogja: ten sam znany wzór, używany do barometrycznego mierzenia wysokości nad powierzchnią ziemi, stosuje się także do atmosfery złożonej z cząstek gumiguty. Różnica jest ilościowa: gęstość atmosfery ziemskiej obniża się do połowy przy wzniesieniu o wysokość 5600 m, w warstwie zaś gumiguty występuje takie samo zmniejszenie gęstości na wysokości kilku tysięcznych milimetra; stosunek tych odległości musi być odwrotnie proporcjonalny do stosunku ciężarów molekuly gazu (powietrza) a cząstki gumiguty. Dzięki tej uwadze, która jest konsekwencją elementarnych praw hydrostatyki, zyskujemy sposób obliczenia ciężaru cząsteczek gazowych, a co za tem idzie, liczby i rozmiarów molekuł i atomów. Nie wchodząc w szczegóły, wspomnę tylko, że tym sposobem obliczono, zgodnie z innemi metodami rachunku, że jeden centymetr sześcienny powietrza (czy jakiegokolwiek innego gazu) w normalnych warunkach temperatury i ciśnienia zawiera 3.10^{19} , czyli trzydzieści tryljonów molekuł.

Powróćmy do przerwanej toku myśli. Bezwzględny zwolennik termodynamiki musiałby to uważać za cud, gdyby kamienie rzucone na dno same przez się nabierały ruchu i napowrót wylatywały ze stawu. Tu pod mikroskopem widzimy, jak cud ten bezustannie dokonywa się, jak cząstki gumiguty opadają na dno, same przez się znówu się wznoszą, znów opadają i tak w ciągłym pozostają ruchu. Doświadczenie rozstrzyga na korzyść atomistyki, gdzie jest istotnie sprzeczna z termodynamiką.

Nie znaczy to oczywiście, ażeby termodynamikę należało porzu-

cić; utrudniłoby to zrozumienie zjawisk przyrody. Pierwsza zasada, t. zw. zasada zachowania energii, dotychczas pozostaje nienaruszona; druga zasada, zasada entropji, o którą tutaj chodzi, wprawdzie zachwiała się jako ścisły dogmat naukowy, ale zachowywa swoją wartość, jako prawo ważne z ogromnem przybliżeniem w codziennej praktyce a odznaczające się prostotą, w przeciwieństwie do niezmiernie skomplikowanych rozważań teorii atomistyczno-kinetycznej. Tylko tam, gdzie występują sprzeczności między jednym a drugim punktem widzenia, pierwszeństwo należy się atomistyce.

Wspomnę krótko o innym dowodzie doświadczalnym, wykazującym słusność zasadniczego założenia teorii kinetycznej. Dowodu tego dostarczyła analiza widmowa. Wyobraźmy sobie, że gaz jednoatomowy, np. argon albo hel, pobudzamy do świecenia przy pomocy rozbrojeń elektrycznych w rurce Geisslera. Jeżeli gaz jest dostatecznie rozrzedzony, tak że atomy nie wpływają na siebie wzajemnie, można przewidzieć, bez względu na mechanizm wywołujący promieniowanie, że każdy atom wysyła światło określonej długości fali, odpowiadającej okresowi drgań własnych, w jego wnętrzu się odbywających. Takich drgań może być mnóstwo rodzajów, to znaczy, że w widmie zobaczymy szereg linii jasnych, ale każda z nich powinna reprezentować światło monochromatyczne, jednobarwne. Byłoby to słuszne, gdyby atomy, wysyłające fale, były nieruchome. W rzeczywistości jednak molekuly gazu posiadają prędkości rzędu kilkuset metrów na sekundę w temperaturze zwykłej. W myśl znanej (zwłaszcza w akustyce) zasady Dopplera, ruch ten musi wywołać zmianę barwy światła. Te cząsteczki, które się ku nam zbliżają, będą wysyłały fale krótsze, odchylone ku fioletowemu końcowi widma; te, które oddalają się, będą świeciły światłem bardziej czerwonym. W całości zatem, zamiast matematycznie ostrej linii widmowej, musi powstać smuga o pewnej szerokości; szerokość ta będzie miarą prędkości molekuł gazowych. Za pomocą tej samej metody, która pozwala zmierzyć spektroskopowo prędkości gwiazd ku nam zbliżających się, lub od nas oddalających się, możemy zatem wyznaczyć prędkości molekuł gazowych. Myśl tę już usiłował urzeczywistnić amerykański fizyk Michelson, ale wyniki nie były całkiem zadawalniające; nie znano wówczas jeszcze gazów jednoatomowych, a przy użyciu gazów wieloatomowych występują komplikacje, zapewne wskutek oddziaływania atomów, złączonych w cząsteczkę. W ostatnim roku francuscy fizycy Buisson i Fabry

wykonali pomiary precyzyjne nad widmem helu, neonu i kryptonu i stwierdzili zgodność prędkości molekularnych, tym sposobem empirycznie znalezionych, z wartościami, które podaje teoria kinetyczna gazów

Dotychczas rozważałem tylko jedną, co prawda najważniejszą fazę odrodzenia atomistyki, t. j. usunięcie wątpliwości i wzmocnienie jej podstaw, które dokonało się w ostatnich czasach. Zaznaczyłem jednak poprzednio, że z tem odrodzeniem połączyło się pewne przeistoczenie atomistyki, a nawet całej fizyki, które scharakteryzowałem słowem „elektryzacja”. Słowo to przypomina przewrót dokonywający się dzisiaj w technice. Kto kilka lat temu jeździł w Londynie po brudnej, cuchnącym dymem przepełnionej kolei podziemnej *underground railway*, dozna przyjemnego zdziwienia, gdy dzisiaj tam się wybierze. Stacje, tory kolejowe pozostały niezmienione, ale na miejsce lokomotyw parowych zaprowadzono elektromotory; czystość, wygoda i szybkość komunikacji zyskała na tem ogromnie. Podobnie i w nauce, dawne teorie i dawne pojęcia mechaniczne zastępujemy dzisiaj stopniowo teorjami i pojęciami z dziedziny elektryczności. Nie jest to wyłącznie rzecz upodobania, jesteśmy do tego zmuszeni siłą faktów, chcąc utrzymać naczelną zasadę badania naukowego: zasadę jednolitości nauki. Początek zrobiła optyka. Dawna teoria undulacyjna, pojmująca światło jako drgania sprężystego eteru, jest już zarzucona. Dzisiaj optyka jest tylko drobnym poddziałem pewnej kategorii zjawisk elektrycznych, zwanych drganiami i falami elektromagnetycznymi. W związku z nią, a także niezależnie od niej, w dziedzinie rozbrojeń elektrycznych, rozwinęła się teoria elektronowa, która do tego jest powołana, żeby z czasem wchłonąć dawną atomistykę, a zatem fizykę materji. Teoria elektronowa jest to (krótko mówiąc) atomistyka elektryczności. Zrodziła się później niż atomistyka materji, ale podczas kilkunastu lat swego istnienia rozwinęła się tak nadzwyczajnie, że pod wielu względami przewyższyła swój pierwowzór. Rozwój ten zawdzięcza przedewszystkiem okoliczności, że metody mierzenia w dziedzinie elektryczności są o wiele czulsze i doskonalsze niż w zakresie zwykłej mechaniki i termiki. Najdobitniej wykazuje to fakt, że dzisiaj (metodą Millikana) potrafimy mierzyć nabój pojedynczych elektronów, to jest cząstek, z których składa się elektryczność ujemna; jesteśmy w stanie wykażać, że ilości elektryczności występują jedynie jako wielokrotności elektronów. Tymczasem

o tem ani marzyć naturalnie nie można, żeby móc zważyć pojedyncze atomy materji nieelektrycznej: dowody atomistyki materialnej są natury pośredniej.

Byłoby to rzeczą bardzo dla mnie nęcącą, zapuścić się w bliższe roztrząsanie cudownych doświadczeń, zapomocą których możemy liczyć elektrony, wyznaczać ich nabój, fotografować drogi, które one zakreślały, ale czas nasz na to nie pozwala. Poruszę zatem tylko pytanie: o ile teoria elektronowa wpłynęła na zmianę poglądów dawnej atomistyki?

Wszystkie rozumowania dawnej teorii kinetycznej, które polegały na założeniu, że materja posiada strukturę atomistyczną, zachowują swoją wartość w niezmienionej formie. Teoria elektronowa nie jest rewolucją, nie jest przeciwstawieniem się atomistyce. Przeciwnie, jest to jej wydoskonalenie i wykończenie. Wydoskonalono przedewszystkiem poglądy na istotę samych atomów. Jak naiwne wydają się dzisiaj poglądy dawnych atomistów, z przed kilkudziesięciu lat, którzy używali pojęcia *atomu* w sensie dosłownym i wyobrażali sobie atomy jako ziarna, jako niepodzielne kawałki materji. Co prawda, już dawno przed teorią elektronową fizycy byli o tem przekonani, że atomy muszą posiadać zawiłą wewnętrzną strukturę, gdyż inaczej nie możnaby było wytłumaczyć skomplikowanego widma, złożonego z wielkiej liczby linii widmowych, które nawet gazy jednoatomowe, jak np. para rtęci, wysyłają. Dzisiaj wiemy, że takie atomy składają się z wielkiej liczby elektronów ujemnych i z odpowiedniej ilości elektryczności dodatniej. Zdaje się rzeczą niemal zupełnie pewną, że wogóle to, co nazywamy materją, jest tylko połączeniem — niejako związkiem chemicznym — elektronów ujemnych i dodatnich; zdaje się również rzeczą pewną, że to, co nazywamy bezwładnością materji, jest tylko objawem sił elektromagnetycznych.

Jaka jest struktura owego związku elektronowego, który nazywamy atomem, tę kwestję usiłowały rozwiązać spekulacje Thomsona, Rutherforda, Wilsona, Starka i innych; są to jednak dopiero pierwsze próby na tem polu i nie możemy spodziewać się skonstruowania teorii racjonalnej, dopóki nie będziemy posiadali dokładniejszych informacji o istocie elektryczności dodatniej. To jest jeden z punktów teorii elektronowej, które dotychczas nie zostały należycie wyświetlone.

Z poznaniem złożoności i podzielności atomów łączy się inne

odkrycie o równie zasadniczym znaczeniu: poznanie ich zmienności. Wiemy dzisiaj, że atomy niektórych pierwiastków — prawdopodobnie wszystkich — z czasem rozpadają się, tracąc kolejno elektrony ujemne i dodatnie. Wszystkie zjawiska promieniotwórczości polegają na tych przemianach; Ramsay, Curie, Dewar i inni stwierdzili, że pierwiastek rad z czasem przetwarza się kolejno na inne pierwiastki promieniotwórcze, między innymi na polon oraz na hel, gaz jednoatomowy o ciężarze atomowym 4. Bez względu na to, czy i kiedy uda się urzeczywistnić dawne marzenie alchemików: dowolną transformację pierwiastków, sam fakt, że świat naukowy dzisiaj dyskutuje takie problemy, jest nadzwyczajnie charakterystyczny. Niespodziewane odkrycia, sprawdzenie doświadczalne najśmielszych spekulacji na polu atomistyki i elektroniki, dały potężny impuls fantazji naukowej. Świeższy i śmielszy prąd panuje dziś w nauce; nastał okres „romantyzmu naukowego”. Jakież jest cel ostateczny wszystkich spekulacji atomistyczno-elektronowych? Celem, który w ostatnich latach coraz wyraźniej zarysowywa się, jest stworzenie jednolitej teorii, obejmującej całokształt zjawisk fizyczno-chemicznych, łącznie z krystalografią.

Narzekać ludzie często na przesadną specjalizację w nauce dzisiejszej. Historia atomistyki jest dowodem, jak konieczna jest specjalizacja, jak drobiazgowo, precyzyjnie zbadanie pewnych pozornie znikomych zjawisk, np. ruchów Browna, ruchów drobnych cząstek naelektryzowanych i tym podobnych zjawisk mikroskopijnych, umożliwiło wyciągnięcie wniosków ogólnej doniosłości, za pomocą których dążymy do syntezy. Ku takiej właśnie syntezie dzisiejsza nauka zbliża się szybkim krokiem. Dziś już nie potrafimy podać definicji oddzielającej obręb fizyki od chemii; aspiracje zwłaszcza teorii elektronowej są bardzo wysokie. Chce ona objąć nie tylko całokształt zjawisk — elektrycznych, mechanicznych i cieplnych — ale również coraz energiczniejsze ataki przypuszczają do głównych problemów właściwej chemii. Zwłaszcza zajmujące są usiłowania wyjaśnienia zjawiska wartościowości chemicznej na podstawie elektronowej. Jakkolwiek jeszcze nie odniosły ostatecznego skutku, wątpić chyba nie można, że w niedalekiej przyszłości elektronika da nam w rękę klucz do zrozumienia pozornie bezładnego chaosu zjawisk chemicznych.

Przeżywamy zajmujące czasy w nauce. Zburzyliśmy w ciągu lat kilku szereg dogmatów, uznawanych przez uczonych dawnych

generacyj. Bezwzględna ścisłość praw termodynamiki, niezmiennosc i niepodzielność atomów, matematyczna ścisłość zasad mechaniki newtonowskiej, nawet tradycyjne pojęcia czasu i przestrzeni — wszystkie te dogmaty runęły. Za podstawę uważamy dzisiaj zasadnicze równania elektromagnetycznej teorii Maxwella, albo raczej elektronowej teorii Lorentza i na tej podstawie oddajemy się spekulacjom co do wewnętrznej struktury atomów. Niema dzisiaj problemu za wysokiego, niema teorii za śmiałej, niema hipotezy zbyt dziwacznej, wolno iść jakąś drogą, o ile doprowadza nas do wyników nowych, lub dawne pozwala ująć w całość z ogólniejszego punktu widzenia.

Czy ten spekulacyjny prąd nie sprowadzi nauki na bezdroża? Jedną cechą charakterystyczną nauki dzisiejszej uchroni ją od pustych, fantastycznych spekulacji, jakie w dawniejszych epokach naukę niekiedy chwastami pokrywały: jej ścisłość matematyczna. Słusznie powiedział Fourier: „L'analyse mathématique n'a point de signes pour exprimer les notions confuses”. Matematyka nie posiada znaków do wyrażenia niejasnych, zagmatwanych pojęć.

Przełożyć nasze argumenty na język matematyczny, to kontrola ich ścisłej logiczności. Porównać wyniki z precyzyjnymi pomiarami doświadczalnymi, to kontrola prawdziwości teorii. Wymagania nauki pod względem matematycznej ścisłości i doświadczalnej precyzji wzrastają bezustannie; to napędza nas wiarą w trwałą wartość nauki, mimo pozornych przewrotów w niej się odbywających.

W krótkim, pobieżnym przeglądzie najważniejszych postępów, dokonanych na polu atomistyki, musiałem obejść się bez symbolów matematycznych; dlatego obawiam się, że pozostanie wrażenie niejasne, zagmatwane. Dlatego kończę prośbą, żebyście Panowie nie wierzyli głośnawym twierdzeniom, lecz starali się poznać właściwy materiał dowodowy, to jest teorie matematyczne atomistyki i elektroniki oraz wyniki doświadczalne z nowszej literatury naukowej. To jedynie może trwać przynieść korzyść; spełniłem zadanie, które sobie postawiłem, jeżeli udało mi się zachęcić Panów do bliższego studjowania przedmiotu.