

DR. WŁADYSŁAW NATANSON  
PROFESOR UNIWERSYTETU JAGIELLOŃSKIEGO

# ODCZYTY I SZKICE



---

WARSZAWA: E WENDE I SPÓŁKA. — LWÓW.  
H. ALTENBERG, G. SEYFARTH, E. WENDE I SKA.

**ODCZYTY I SZKICE**

**ODCZYTY I SZKICE**

24

PRZEZ  
ODCZYTY I SZKICE

PRZEZ  
D-RA WŁADYSŁAWA NATANSONA  
PROFESORA UNIwersYTETU JAGIELLOŃSKIEGO



W WARSZAWIE  
NAKLADEM KSIĘGARNI E. WENDE I S-KA  
(T. HIŻ I A. TURKUŁ)  
1908



55538



WYDAWCA  
Drukarnia „Prasa” w Krakowie

KRAKÓW. — DRUK W. L. ANCZYCA I SPÓŁKI.

K-333/75 / 57869

## PRZEDMOWA.

Pragnąłbym usprawiedliwić się z ułożenia niniejszej książeczki w której jest mowa

## PRZEDMOWA.

Pragnąłbym usprawiedliwić się z ułożenia niniejszej książeczki w której jest mowa

## PRZEDMOWA.

Pragnąłbym usprawiedliwić się z ułożenia niniejszej książeczki, w której jest mowa o wielkich zagadnieniach, ale tylko ulotnie; w której szczupłych ramach i skromnym zakresie mieści się zaledwie luźny szkic, do rywcy rzut oka, może niekiedy zwięzła wskazówka.

Pragnąłbym usprawiedliwić się; lecz mogę zasłonić się tylko nadzieją, że nawet z takiego zbioru wzmianek, jakim jest ta książeczka, jakowaś radość dla kogoś może wyniknąć. Korzyści spodziewać się nie śmiem. Korzyść przynoszą wykłady Nauki, uczące spokojnego i wytrwałego myślenia. Takie dzieła (na przykład: »Zasady Fizyki« profesora Augusta Witkowskiego) są zdolne wieść czytelnika i przyświecać mu w pracy; szkice, jak tutaj zebrane, w pomysłnym przypadku, mogą chyba zabły-

snąć po drodze, jak natychmiast gasnąca iskierka.

Służba Nauce, ażeby była owocna, musi być sumienna i wierna. Ale to nie wystarcza. Ta służba, dopóki nas wiąże, powinna, daleka od wszystkiego, co niskie, być owiana tchnieniem entuzjazyzmu. I mimo iż ronimy marzenia i złudzenia młodości, idąc drogą życia, powiem przecież, w co wierzę: że będą zawsze powołani do owej służby czystej, idealnej; że nie zbraknie przeznaczonych, by słuchać głosów Nieskończoności, które dźwięczą wkoło nas, po wsze strony.

Wł. N.

Kraków, w październiku 1907.

## SPIS RZECZY.

	Str.
Odczyt pierwszy: Pogląd na rodzaje zjawisk w materialnym wszechświecie . . . . .	1
Odczyt drugi: Inercya i koercya; dwa pojęcia ogólne w Teorii Zjawisk Fizycznych . . . . .	26
Odczyt trzeci: O Teoryach Materyi . . . . .	50
Odczyt czwarty: Szkice z zakresu Fizyki Elektrycznej . . . . .	77
Odczyt piąty: Świat, widziany od strony elektrycznej . . . . .	99
Przypiski do odczytu piątego . . . . .	128

## ODCZYT PIERWSZY.

**Pogląd na rodzaje zjawisk w materialnym wszechświecie.**

W trudach naszych, zabiegach, staraniach, oceniając je z pewnej strony, wyróżniamy to, co nazywamy *pracą*. Uczmy się wszędzie pracę dostrzegać! Cały wszechświat niezmierny sam nad sobą nieustannie pracuje. Oceany pracy przewalają się po nim; z tych usiłujemy niekiedy, jeszcze bardzo nieśmiełe, drobne strumyki kierować w ludzkie nasze koryta.

Tak patrząc na wszechświat, myślimy o nim już »energetycznie«. Zważając bieg pracy w Naturze, spisując niejako rachunki z jej wydatków i dochodów pracy, dostrzegamy niebawem, że nowe pojęcie pojawiło się w naszym myśleniu: *energia*. Jakże bogate, jakże potężne! Jest-że to nawet jednolite pojęcie, proste, jasne, łatwe, którego treść zmieściłaby się w ścisłej definicji? Może wypada raczej ją nazwać zbiorowi-

skiem pojęć, może trzeba ją raczej przyrównać do tkaniny pojęć, do wzorzystej tkaniny, której barwy świetne, jasność geometryczna, zasnuwają się wszędzie w mgłę niewiadomości. Energia, w Nauce Fizyki dzisiaj naczelne narzędzie, przewodnik codzienny, wypróbowany tak wiele razy, kolej powszednia i niejako koryto myślenia, zarazem fundament i korona gmachu, określeniami może pogardzać.

## I.

Pierwszą jej stroną, rozumianą dotychczas najlepiej, jest praca. Ta jest *oznaczona* w gmatwaniu materyalnych wydarzeń. Każda zmiana w materyalnym wszechświecie wymaga wykonania pewnej, oznaczonej ilości pracy, danej przez samą istotę tej zmiany. Taka prawidłowość spełnia się w materyalnym wszechświecie, o ile wiemy, ściśle i powszechnie; ją na myśli mają uczeni, gdy głoszą »zasadę zachowania energii«, która, jak widzimy, mogłaby nazywać się również (i może stosownie) zasadą oznaczonej ilości pracy.

Tak *jest* w materyalnym wszechświecie. A skoro tak jest, nam tedy w Nauce Fizyki nie pozostaje nic innego, jak przystosować myślenie nasze do rzeczywistości (jak wyrażamy się zazwyczaj).

## II.

Ale praca jest tylko *stroną* pojęcia energii i treści jego nie wyczerpuje. Zasada oznaczonej ilości pracy (czyli zachowania energii) chwytą jedną tylko cechę z urządzenia Natury. Można by powiedzieć, że obejmuje ją niejako za luźno, że ją otacza wprawdzie dokoła, ale za bardzo z daleka. Każde naukowe twierdzenie można by może przyrównać niejako do sita, które rzeczy możliwe oddziela od niemożliwych. Owóż, w takim razie, zasadę zachowania energii trzeba by było upodobnić do sita niedostatecznie gęstego. Wprawdzie zjawiska, które ona jako niemożliwe odrzuca, nigdy i nigdzie nie dochodzą do skutku; lecz między temi, na które pozwala, znajdują się pospół zjawiska rzeczywiste, codzienne, jakoteż i takie, które się nie odbywają, o których wiemy, że są przeciwne porządkowi Natury. Możemy to jeszcze inaczej wysłowić. Wyobraźmy sobie świat, nad którym *jedynie tylko* zasada zachowania energii rozciągałaby władzę. W świecie podobnym możliwe byłyby wydarzenia zgoła urojone, które piętnuje i odpycha najbardziej pospolite doświadczenie. Woda, wystawiona na działanie płomienia, mogłaby w tym świecie zamarzać na lód, byleby jednocześnie gazy pło-

mienne rozgrzewały się jeszcze silniej. Kamień, swobodnie puszczony, mógłby tańczyć w powietrzu i dowolnie w niem kręgi zataczać, byleby prędkość, którą każdej chwili osiąga, była ściśle ta, jaka z zasady zachowania wynika. Dwa elektryczne obwody, odkształcane lub przesuwane wzajemnie względem siebie, wykazują prądy posłuszne prawom nieodmiennym, które znamy dokładnie; ale w świecie, który ma przestrzegać jedynie zasady zachowania energii, prądy wzbudzone mogłyby być tysiąc razy silniejsze lub tysiąc razy słabsze, byleby źródła obce elektrobodźcze, ciepłne np., albo chemiczne, pracowały w stosownej mierze. Podobne przykłady możemy mnożyć bez końca. Lecz idzie nam tylko o wnioski, do którego przykłady prowadzą: zasada zachowania energii jest prawdą, ale nie jest całą prawdą bynajmniej.

### III.

Dalej w górę możemy iść dwiema drogami.

Skoro zasada zachowania energii nie wystarcza, zatem dla opanowania zjawisk szukajmy innych zasad, praw dalszych, któreby ją *dopełniały*, które *obok niej* byłyby ważne. Prawa takie poznaliśmy istotnie w rozmaitych oddziałyaniach Nauki, w stopniu ogólności bardzo roz-

maiłym. Znamy je przede wszystkim w Termodynamice. Tu posiadamy, pod wiele mówiącą nazwą »drugiej« zasady, uogólnienie potężne, które dali nam Carnot, Clausius i Kelvin. Przenikliwość tych i innych jeszcze filozofów wytknęła drogę, po której biegnąc myśl ludzka zagłębia się dziwnie daleko pod pozór zewnętrzny Natury. Jednakże, nauczysz się władać ową «drugą zasadą», czyli myśleć według niej, próbujmy jej treść przejrzeć nawskróś, próbujmy jej myśl wyrozumieć do dna; nie potrafimy oprzeć się wówczas niejasnemu poczuciu, że poza tą prawdą, przecież już tak bardzo wyniosłą, stoi niedaleko, o jeden zdawałoby się krok, myśl jakaś jeszcze szersza, prawda jeszcze bardziej bogata i dreszcz entuzjazmu chwytają nas w nadziei, że jasność tę ujrzymy wprost, w jej całym blasku.

Dojrzała rozważa i wymowny głos niepowodzeń uczy, że droga, na którą wступujemy w ten sposób, może być złą drogą w zagadnieniach tak bardzo rozległych. Powiedzmy, że chcemy budować Energetykę ogólną. Dlaczego mielibyśmy w Energetyce zaczynać koniecznie od zasady zachowania energii? Wiemy, że ta zasada nie może dać ani w jednym zagadnieniu całkowitego rozwiązania, za-



tem może raczej utrudnić opanowanie zadania, czyniąc nasze rozumowania niejednolitemi. Zdaje się, że zadanie najbardziej jest trudne, jeśli chcemy zdobywać je kolejnymi stadyami; łatwiej jest niekiedy od razu, jednym skokiem myśli je rozwiązać, podobnie jak łatwiej jest zrozumieć ideę posągu całkowitego, niż pociętego na części.

Pomyślmy o rozwoju innego oddziału Nauki, starej, czcigodnej Dynamiki. W Dynamice, przez przeciąg z górą stulecia, nie troszczono się wcale, lub bardzo mało troszczono się, o zasadę zachowania energii. Nikt w niej nie poszukiwał twierdzeń, które dopełniają zasady zachowania energii, jak ich poszukujemy w Termodynamice dzisiaj. Szukano w niej od razu całkowitego rozwiązania zadania; szukano w niej t. zw. praw ruchu. I poznano te prawa. Galileusz przeczuwał je, jak gdyby przez mgłę. Newton je dostrzegł, pochwycił i dał każdemu do ręki. D'Alembert i Lagrange, Hamilton, Maxwell, Helmholtz i Hertz (że wspomnimy tych tylko) nadali im siłę i polot ogólności, pnąc się coraz wyżej i wyżej po szczeblach oderwanego myślenia. Przypuśćmy najprostszy dynamiczny przypadek: chcemy poznać (przypuśćmy) ruch dwóch punktów materialnych, swobodnych w prze-

strzeni. Nie przyjdzie nam na myśl pisać zasadę zachowania energii i poszukiwać następnie jeszcze pięciu dodatkowych równań; piszemy od razu sześć równań, według praw ruchu Newtona. Przez tych sześć równań zadanie jest w zasadzie rozwiązane, gdyż zawierało sześć niewiadomych; w tych sześciu równaniach zasada zachowania energii już tkwi, jest w nich *implicitie* zawarta.

Taki najprostszy, elementarny przypadek uczy bardzo wiele. Dlaczego nie mielibyśmy, w najogólniejszej nawet Energetyce, atakować zagadnień równie bezpośrednio? Poszukujmy ogólnych równań energetycznych zmienności. A jeśli tak rozumiane równania zmienności mają w różnorodnych przypadkach postać zbyt niejednostajną, poszukujmy więc ogólnej *metody tworzenia ich* w każdym przypadku; poszukujmy pierwotnej, macierzystej formuły, z której można by wywieść je zawsze. Jeśli ją posiadziemy, będziemy upewnieni, że równania zmienności, pomimo kształtów najbardziej rozmaitych, głoszą *jedną* prawdę, wypowiadają toż samo, tylko w różnych językach. Taka jest droga, która, w naszym przekonaniu, jest płodna, jest obiecująca w stadyum dzisiejszym rozwoju Fizyki Ogólnej. Taka też jest idea przewodnia tak

zwanej w Nauce *termokinetycznej zasady*. Co ona w Naturze *martwej* dostrzedz pozwala, pragniemy tutaj, o ile potrafimy, wyłożyć.

## IV.

Widzimy dzisiaj jasno, że każde zjawisko ma stronę *odwracalną* i stronę (lub strony), która jest *nieodwracalna*. Ażeby to widzieć, musimy przyzwyczaić się do upatrywania w zjawiskach ich *stron*, czyli wewnętrznych części składowych, lub *podzjawisk*, jak krótko powiemy. Jedne podzjawiska są zwrotne; mogą iść i naprzód i wstecz. Co zatem dzieje się przez nie, to wydarza się i mija niebawem, to musi stawać się i odstawać bez końca. Kołysząc się, wahadło naprzemian wznosi się ku górze, to znowu opada. Planeta, obiegając słońce, zbliża się ku niemu, oddala od niego, poczem znowu się zbliża i tak dalej bez końca. Woda w połączonych nagle, niejednakowo wzniesionych zbiornikach, może wahać się to w jedną stronę, to w drugą; podobnie może oscylować powietrze pomiędzy dwoma niejednakowo niem naładowanemi balonami. Pręty, sztaby, błony, nici, sprężyny mogą wyginać się i rozprostowywać, wyciągać się i znowu się kurczyć, mogą się skręcać lub znowuż rozkręcać. Płyiny mogą się

zgęszczać, ścisnąć, napływać, bądź znowu rzędnąć, rozprężyć i stosownie rozplywać. Woda może parować i potem się skraplać, może zamarzać i znowu się topić. Sól albo cukier może rozpuszczać się i przenikać w roztwór, lub też napowrót wydzielać się i krystalizować. Fosfor czerwony może zamieniać się na żółty, żółty przeciwnie na czerwony. Cyan może przechodzić w paracyan, paracyan, przeciwnie, może przerażać się w cyan. Alkohol z kwasem octowym może wytwarzać ester i wodę; lecz ester wraz z wodą da znowu alkohol i kwas. Zmieniając pole, możemy magnesować kawałek żelaza lub stali, albo możemy go, przeciwnie, odmagnesowywać. Możemy ładować kondensator elektryczny; możemy go rozbrajać. Możemy, ogrzewając albo oziębiając miejsce zetknięcia antymonowej i bizmutowej sztabki, wytworzyć prąd elektryczny; przepuszczając, przeciwnie, prąd przez takie miejsce zetknięcia, możemy je ziębić lub grzać. I te wszystkie podzjawiska i niezliczone inne są odwracalnemi przemianami *energii*. W niektórych energia kinetyczna ruchu może wytwarzać się z potencjalnej energii ciężkości, ciężenia, sprężystości, lub może przeciwnie, przerażać się w te formy energii. W innych rozmaite rodzaje potencjalnej energii mogą

przeobrażać się nawzajem na siebie. W innych jeszcze energia mechaniczna lub chemiczna zamienia się na cieplną, cieplna zaś przeciwnie daje mechaniczną, chemiczną. W innych nakoniec uczestniczy energia magnetyczna, elektryczna, elektromagnetyczna, energia promienista, przybierając dowolnie coraz to inne postaci i z nich napowrót wracając do kształtów pierwotnych.

Lecz pod tą ruchliwą i zmienną chwiejną wydarzeń, pod tą niejako igraszka Natury, kryje się trwała, posępna robota. Podzjawiskom odwracalnym towarzyszą wszędzie nieodwracalne; te zaś nie cofają się nigdy. Choć cała reszta zjawiska zawraca, nieodwracalne zachowują swój sens, swój kierunek. Mówimy np., że ruch »sam przez się« jest odwracalnem zjawiskiem. Ale w przyrodzie niema ruchu bez lepkości, bez tarcia, bez oporów i przeszkód; każdy ruch je spotyka i musi z niemi się zmagać. Wahadło, czy wznosi się ku górze, czy opada na dół, spotyka zarówno opór powietrza, tarcie w osi wahania i tym podobne przeszkody i przewycięzać je musi; zatem w ruchu wahadła kinetyczna i potencjalna energia odwracalnie zamieniają się nawzajem na siebie, ale kinetyczna *nieodwracalnie* (dzięki oporom i tarcii) przera-

dza się w ciepło. Istotnie, ciepła, wytworzonego przez tarcie, niepodobna jest bezpośrednio, przez odwrócenie biegu zjawiska, zamienić w kinetyczną energię wahadła. Więc tarcia, przeszkody, opory, to podzjawiska nieodwracalne. Więc »ruch czysty«, przedmiot badań Nauki Dynamiki, to nic innego jak tylko *fikcya*, odwracalna strona pewnych zjawisk w Naturze. Prawda, że kiedy lód topi się, dając wodę ciekłą, pochłania wówczas cieplną energię i że ta przemiana jest doskonale odwracalna; ale lodu stopić inaczej nie można, jak tylko udzielając mu ciepła, np. przez zetknięcie z ciałem choćby nieco cieplejszem; udzielanie zaś ciepła w ten sposób, przez przewodnictwo, jest nieodwracalne: przewodzenie ciepła wogóle jest widocznie podzjawiskiem nieodwracalnem. A więc tak zwane odwracalne topienie się lodu, przykład klasyczny w rozumowaniach Termodynamiki, jest *fikcya*, jest tylko odwracalną stroną pewnych zjawisk w Naturze. Prawda, że sprężynę można skręcać i pozwalać się jej znowu rozkręcać; ale w przyrodzie niema sprężyn doskonałych: za każdym skręceniem i rozkręceniem następnem rozluźnia się ustrój wewnętrzny sprężyny i własności jej sprężyste, chociaż nieznacznie, giną niepowrotnie. A zatem energia

sprężysta *może* zamieniać się odwracalnie na obcą mechaniczną energię, ale *musi* zarazem nieodwracalnie zamieniać się na ciepło; a zatem bezwzględna, t. zw. doskonała sprężystość, którą zajmujemy się w Fizyce matematycznej, jest *fikcyjną*, jest odwracalną stroną pewnych zjawisk w Naturze. Prawda, że termoelektryczne ogniwo, ogrzane lub oziębione, daje prąd; prąd zaś, przechodząc przez ogniwo, oziębia je albo ogrzewa; ale prąd, w jakimkolwiek kierunku płynie, zawsze, ze swej istoty własnej, ogrzewa i musi ogrzewać przewodnik, przez który (jak mówimy) przepływa. Zatem tutaj, do odwracalnej przemiany, która odbywa się pomiędzy elektromagnetyczną a ciepłą energią, stale dołącza się inne, zupełnie odmienne podzjawisko nieodwracalne: zamiana energii elektromagnetycznej na ciepłą, nigdy przeciwnie. To samo wszędzie widzimy, w każdej dziedzinie zjawisk. Bez lepkości, bez tarcia, bez rozluźnienia, zmiękczenia, rozplynięcia się, bez naruszenia i ujednostajnienia budowy, bez przewodnictwa, dyfuzji, rozcieńczenia, bez mieszania, co było rozdzielne, bez wessania, pochłonięcia, przekształcenia, rozproszenia energii, bez pokonania oporów, bez wytworzenia się ciepła — niema zjawisk w materialnym wszechświecie. Takie

są podzjawiska nieodwracalne, strony zjawisk nieodwracalne, niekiedy drobne przymieszki i niejako zakłócenia podrzędne, niekiedy żywioty glówne, które górują nad resztą zjawiska.

## V.

Wiemy już, że podzjawiska czysto odwracalne (jak je nazywamy) są to tylko mary i cienie wydarzeń; są to tylko abstrakcje, które wydzielamy z rzeczywistości rzutem wyobraźni. W istocie odbywają się one zawsze wspólnie z nieodwracalnymi. Musimy jednak odróżnić *dwa typy* odwracalnych podzjawisk.

Do pierwszego typu zaliczamy odwracalne podzjawiska ruchu, czyli dynamiczne, oraz bogatą grupę elektromagnetycznych odwracalnych podzjawisk, wraz z zawartymi w niej świetlnymi i wogóle promienistymi fenomenami. Cechy tych zjawisk są następujące. Przedewszystkiem są to zjawiska *wektoryalne*. Mają własny swój *impet*, mają *rozmach* właściwy; nie zatrzymując się, same przez się, choćby bez bodźca, zagarniają i pochłaniają przestrzeń (którą znamy przeważnie dzięki tym właśnie zjawiskom). Nareszcie *nie są związane z materią w sposób istotny*; mogą wydarzać się poza materią, lub tylko zewnętrznie dotyczyć materii. Ruch czy-

sty np., zjawisko nie proste i nie pierwotne, posiada widoczną cechę impetu, rozmachu, trwałości energii, a zarazem i trwałości kierunków w przestrzeni; Nauka Dynamiki, ażeby wypowiedzieć te cechy, wykształciła pojęcia bezwładności i siły. Bezwładność jest faktem; ale strzeżmy się wślaczać ją naiwnie w pojęcie materii. Bezwładność nie jest własnością materii; bezwładność jest cechą ruchu. Siła w Dynamice nie jest wpływem, działaniem, ani towarzyszem materii; siła jest cechą ruchu. Jak bardzo jest wektoryalna, wiadomo z Dynamiki. W polu elektromagnetycznym mamy dwa najważniejsze rodzaje *odwracalnych* podzjawisk. Mamy zmianę w czasie elektrycznego wektora, połączoną z pewnym rozmieszczeniem (w przestrzeni) magnetycznego wektora; przykład najprostsz: magnetyczne działanie prądów dielektrycznych. I mamy, przeciwnie, zmianę (w czasie) magnetycznego wektora, połączoną z rozmieszczeniem stosownem (w przestrzeni) wektora elektrycznego, jak to widzimy, mówiąc ogólnie, w zjawiskach indukcji. Impet własny i rozmach tych odwracalnych podzjawisk widzimy najlepiej w zjawiskach fal elektrycznych, fal wogóle wszelkich, które mamy wyobrażać sobie, ze względu na odwracalność, w czystym

eterze. Tu zarazem widzimy, jak te zjawiska związane są luźno z istnieniem materii, jak mogą się od niej nawet zupełnie oddzielać. Cała zaś Optyka, cała Elektromagnetyczna Teorya, która jest siecią najbardziej misternych przestrzennych stosunków, uczy o wektoryalnym, o istotnie i głęboko wektoryalnym charakterze tych zjawisk.

Do innego typu należą odwracalne podzjawiska, które spotykamy w fenomenach, zwanych potocznie cieplnemi, chemicznemi, zwanych reakcjami lub zmianami stanu skupienia. Poczynając od prostych przemian wzajemnych energii mechanicznej, cieplnej i (różnych nazw) energii wewnętrznej, któremi zajmujemy się w Termodynamice klasycznej, np. w Termodynamice płynów; od prostych przypadków parowania i skraplania się, topienia się lub krzepnięcia, ulatniania się i osadzania, od osmotycznego przenikania, rozpuszczania się, rozcieńczenia, od przemian t. zw. allotropowych, od prostych dysocjacji, aż do najbardziej zawiłych przypadków chemicznych równowag — podzjawiska odwracalne tej kategorii rozpościerają się przez znaczną część Fizyki i przez całą niemal bogatą, olbrzymią dziedzinę Nauki Chemii. Zdradzają one wprost przeciwne wła-

sności, niż podzjawiska, które zaliczyliśmy przed chwilą do pierwszej kategorii. Przedewszystkiem są pozbawione własnego impetu, rozmachu; same sobie pozostawione, nie trwają, przeciwnie, słabną i niebawem ustają. Są wybitnie *skalarne*: przestrzeń nie gra *istotnej*, zasadniczej roli w ich przebiegu, z kierunkami nie mają nic do czynienia, albo chyba tylko pośrednio. Nakoniec są jak najbardziej istotnie związane z *materyą*; szerzą się w materii, ogarniają materię, jak pożar ogarnia dom, jak epidemia szerzy się w mieście. Wkraczają w najgłębsze arkana materii; zmieniają jej najbardziej rdzenne własności; nawzajem zależą od wszystkiego, co łączy się blisko i istotnie ze stanem materii, co wyraża ten stan i charakteryzuje go. Mamy tego przykład w zależności tych zjawisk od temperatury ciał materialnych, w których dokonywają się one; w zależności powszechnej i sięgającej głęboko. Tę zależność poznaliśmy dzisiaj, dzięki Termodynamice. Istotnie, Termodynamika, przynajmniej w jej pierwotnym, ciśnieńszem ujęciu, jest produktem konsekwentnego zastosowania jednej nieporównanej myśli, w której określenie temperatury już jest zawarte. Pojęcie temperatury jest również, wyłącznie, skalarne. Być może, że ono jest skalarne

tylko wskutek mieszania się ze sobą, w stanach równowagi materii, wskutek skrzyżowania, splecenia się całego tłumu niezliczonych, indywidualnie wektoryalnych, zjawisk elementarnych; być może, że każde zjawisko skalarne jest wynikiem i niejako pozostałością takiego skrzyżowania się. Jedna fala np. (powiedzmy fala płaska, spolaryzowana liniowo) lub jeden *ciąg* takich fal, jest wybitnie wektoryalnym zjawiskiem; dlatego zwykłe pojęcie temperatury nie może go chwycić, nie przystaje do niego. Ale nieskończony tłum fal, nieskończenie skrzyżowana sieć fal, biegnących jednakowo we wszystkich kierunkach, może mieć cechy skalarne; cechy wektoryalne fal indywidualnych gubią się w tłumie izotropowym. Takie promieniowanie (które możemy urzeczywistnić, przynajmniej przybliżenie, w dziedzinie próżnej, zamkniętej zewsząd, odosobnionej co do promieniowania i otoczonej zupełnie przez ciała zwyczajne, materialne, o temperaturze jednostajnej, gdzie wykluczono wszelkie t. zw. jarzenie się) bywa nazywane promieniowaniem *czarnem*. Możemy zrozumieć według powyższego, że promieniowanie czarne zależy od temperatury, że może być nawet określone przez temperaturę. Takie promieniowanie może być badane, i zostało isto-



tnie zbadane, na termodynamicznej drodze myślenia.

Podzjawiska pierwszego typu nazwijmy *kinetycznymi*. Podzjawiska typu drugiego możemy nazywać, w braku lepszej nazwy, *termodynamicznymi*, skoro Termodynamika nauczyła nas, jak je dostrzegać i badać.

## VI.

Wiemy już, że podzjawiskom odwracalnym, do którejkolwiek kategorii należą, towarzyszą zawsze nieodwracalne. Uważajmy np. w Naturze zjawiska, w których upatrujemy *kinetyczne* odwracalne podzjawiska; płaczą się pomiędzy nimi i brużdżą zawsze *nieodwracalne*. Sprawiają zaś zawsze to samo: hamują impet kinetycznych, osłabiają ich rozmach i w końcu go niszczą. Albowiem niszczą bezpośrednio kinetyczną energię tych procesów, rozrzucają ją w przestrzeni, rozpraszają, zamieniają na ciepło; przez nią pośrednio wysysają z układu inne jego rodzaje energii lub przez pośrednictwo układu ciągną i rozpraszają pracę ze źródeł zewnętrznych energii. Szybkość rozpraszania bywa naturalnie bardzo różnaita, w stosunku do posiadanego zapasu energii. W ruchu np. postępowym i obrotowym ziemi rozpraszanie, wynikające z (do-

tychczas domniemanego) oporu ośrodka, ze spotkań z meteorytami, z niesztynności kuli ziemskiej, z tarcia wewnętrznego wód w morzu i w oceanach i z wielu innych źródeł podobnych, odbywa się nadzwyczajnie powoli; dlatego ruch ziemi trwa już i będzie trwał jeszcze znaczną liczbę lat. Podobnie ruch wahadła w powietrzu lub ruch samego powietrza trwa długo i powoli zanika. Natomiast ruch widoczny w lepkiem oleju, w mazi lub w smole szybko zanika. W kleju, w wosku, w żywicy, w ołowiu lub w stali ruch zanika tak szybko, że wydaje nam się, iż niema go wcale. Ta sama przemiana, która w powietrzu dokonywa się w ciągu miliardowej części sekundy, odbywa się również i w ołowiu i w stali, wymaga tam tylko długiego szeregu lat. Ale to jest okoliczność podrzędna. Pole elektryczne zanika w każdym rodzaju materji. W srebrze lub w miedzi zanika szybko; w szkle, w kauczuku lub w miece, zanika powoli. Metale niszczą pole elektryczne miliony milionów razy prędzej, niż t. zw. złe przewodniki; ale taka różnica nie jest ważna; ważne jest to, że istota i prawo niszczenia jest zawsze to samo.

Pomyślmy teraz, że owe podzjawiska nieodwracalne, towarzyszące kinetycznym odwracal-

nym, mają w nich właśnie swe źródła. Wszelkie np. tarcie w ruchu zależy od prędkości ruchu. Ciepło, powstające z energii elektrycznej pola, gdy ono zanika np. w łonie metalu, t. zw. ciepło Joule'a, zależy od natężenia pola. Zatem widzimy, że podzjawiska nieodwracalne zabijają i niszczą nie tylko owe odwracalne, którym towarzyszą; widzimy, że gubią się same, wysysając własne swe źródła. Zatem one prowadzą całość zjawiska, dokąd staczają się same: do ciszy, do spoczynku, do zastoju, do śmierci. Spójrzmy dokoła: przecież nasz zaulek wszechświata, toczony przez podzjawiska nieodwracalne, zamiera powoli, wyczerpując się w walce. Ziemia pokryła się skrzepem i próchnem. Najbliższy nam księżyc zmarzył, wyschnął; straciwszy wiele ze swej swobody pierwotnej, zaledwie dzisiaj się rusza. Słońce zżółkło; stygnie wyraźnie. Wszędzie ciała poruszone ustają. Uspakajają się fale na morzu, w atmosferze wiatr cichnie, głosy przebrzmiewają; wstrząśnienia i drgania rozchodzą się w ziemi i giną gdzieś niepowrotnie. Góry szczybią się i rozsypują powoli. Jedne ciała wietrzeją i kruszą się, inne płowieją i blekną, jeszcze inne palą się lub pokrywają się rdzą. Rozgrzane ciała stygną; oziębione powracają do średniego poziomu. Za-

mierają prądy elektryczne i przeróżne gatunki promieniowania, chwytane, pochłaniane, tłumione przez wszystkie rodzaje materii.

Z taką ogólną, z taką powszechną dążnością przyrody walczymy bez przerwy; *musimy* z nią walczyć. Przyroda wciąż wszystko ujednostajnia, wyrównywa, przyćmiewa, uspakaja i gładzi; my, ludzie, ażeby żyć, *musimy* odrabiać tę jej bezmierną robotę. Musimy odżywiać się, od zbytniego chłodu lub upału się chronić, w nocy niecić światło, przenosić się z miejsca na miejsce, cierpieniu kłaść kres lub nieść ulgę, myśl kształcić, utrzymywać i szerzyć, uczucia wznosić i uszlachetniać; a w tych i wszystkich innych naszych potrzebach i celach cóż czynimy? Oto staramy się wydobywać rzeczy z naturalnego chaosu i przyspasabiać je sobie, usiłujemy wytwarzać układy sztuczne, urządzenia nienaturalnie proste, czyste, ścisłe, stany niezwykle i nietrwale, ale nam potrzebne. W drobnym zakresie naszych sił i możliwości odnosimy zwycięstwa nad upodobaniami Natury; ale zwycięstwa pozorne, bo okupione natychmiast straszliwym marnotrawstwem nagromadzonych we wszechświecie zasobów, zwycięstwa chwilowe, bo skazane odrazu na zagładę. Każdy kawałek węgla, wydobyty z pod ziemi, każda ka-



rafka wody oczyszczonej, przefiltrowanej lub przedystylowanej, każdy bochenek chleba, zapalona lampa, każda sztuka płótna, każdy arkusz papieru, każdy rysunek, obraz, każdy dom, most, szosa, każda lokomotywa i każda igła jest takim miejscowem, małym, pozornym, chwilowem i przejściowem zwycięstwem. Każde ciało *czyste* jest wyzwaniem, rzuconem Naturze; w pracowniach naukowych wiedzą, że nawet woda bezwzględnie czysta jest fikcją, jest idealnem, granicznym pojęciem. Każde naukowe doświadczenie jest arcydziełem nieprawdopodobieństwa: każdy utwór Sztuki, czyli upragnienia niemożliwości, jest dla Natury wybrykiem, skandalem po prostu. Pożar domu, zawalenie się mostu, wybuch w kopalni, jest buntem Natury przeciwko narzuconemu jej, nieznośnemu jej porządkowi. Czemże są istotnie te i podobne nieszczęścia i klęski, jeśli nie powrotem pewnych układów do stanu mniej sztucznego, niż pierwotny. Pomyślny, że owe układy do tego stanu dojść muszą, na tej drodze czy innej, prędzej czy później. Pomyślny, jak wszystko, czego nam potrzeba ze względu na czystość i zdrowie, ze względu na bezpieczeństwo, wygodę lub piękno, jest do osiągnięcia trudne; jak wszystko to jest chwiejne i znikome, gdy jest osiągnięte.

Prawie wszystko, co fizycznie czynimy, jest walką, z góry przegraną, z nieodwracalnemi podzjawiskami. Czując, że nie możemy im zapobiedz, usiłujemy przynajmniej zwalniać i hamować ich przebieg. Taki ostatecznie jest sens wszystkich naszych składów, zbiorników, spichlerzy, naszych skarbców i kas, arsenałów, magazynów, pałaców, wszystkich naszych muzeów, kolekcji, bibliotek, archiwów, wszystkich piramid kamiennych i stalowych wież. Ale to wszystko jest walką liścia z wichurą jesienną. Wszystko to będzie, jest już dziś, łupem nieodwracalnych podzjawisk. Wszystko to w proch się obróci i w pył bezimienny.

## VII.

W drobnym materialnym układzie, jeśli potrafimy odosobnić go co do masy i zachować przez czas jakiś bez zmiany warunki zewnętrzne, dostrzegamy niebawem zazwyczaj wyczerpanie się kinetycznych odwracalnych podzjawisk, zatem zarazem i towarzyszy ich, nieodwracalnych. Rozumiemy, że nieodwracalne podzjawiska stłumiły kinetyczne, a tem samem wyczerpały własne swe źródła. Pozostaje wówczas możliwość jedynie owych podzjawisk typu drugiego, owych skalarnych odwracalnych podzja-

wisk, które nazwaliśmy »termodynamicznymi«. Lecz to są przemiany, pozbawione samoistnego popędu. W naturze ich leży, że odbywają się wtedy, gdy jednoczesne nieodwracalne procesy torują im drogę. Owe termodynamiczne zjawiska umieją się tylko wlec za nieodwracalnemi; w przeciwnym razie czekają, aż zostaną pociągnięte przez podzjawiska nieodwracalne. Skoro tedy w układzie nieodwracalne ustały, wówczas odwracalne termodynamiczne podzjawiska są wprawdzie możliwe, niejako są przygotowane, wiszą w powietrzu; ale, pozbawione pobudki, nie dochodzą do skutku. Mówimy wówczas, że *równowaga* panuje w układzie.

Zważmy jednakże, że układ ma wówczas (choćby tylko w nieskończenie ciasnym zakresie zmienności) co najmniej dwie drogi do wyboru, dwa kierunki zmian, jednakowo możliwe; na żaden z nich układ zdecydować się nie może, ponieważ są równouprawnione ściśle. Mamy więc nie tylko równowagę; t. zw. obojętną równowagę mamy wówczas w układzie. Mamy ją np. w mieszaninie wody ciekłej i lodu, jeśli panuje w niej temperatura jednostajna zera Celsjusza i ciśnienie normalne i jednostajne jednej atmosfery. Bywają inne przypadki równowagi: np. takie, w których przecięta jest możliwość nawet

odwracalnych termodynamicznych podzjawisk; można je nazywać przypadkami trwałej równowagi. Bywają również przykłady chwiejnej, albo i pozornej równowagi.

### VIII.

Mało wiemy, nic prawie. Zaledwie rozpoczęliśmy pochód na drodze do poznania praw zjawisk. Zdawałoby się, że każdy krok po tej drodze wyczerpuje siły pokolenia, które go uczyniło. Po każdym takim kroku ludzkość musi przystawać i oswajać się z nowym widokiem. Ale pochód trwa i Nauka wzrasta.

Dlaczego ten pochód? Jaki cel ma Nauka? Pocóż chcemy poznawać Naturę? Na pierwszy rzut oka położenie nasze w niej jest okropne. Natura nie jest okrutna; Natura jest gorzej niż okrutna, jest obojętna, pogardliwa nie-ludzko: i względem nas, których co chwila przecież zgniata i zmiata, i względem wszystkiego, wszystkiego, co się w niej kiedykolwiek ziściło.

Nauka nie ma celu. Prawdziwy owoc życia, jest koniecznością, wyższą nad ludzkie zamiary. Jest nieuchronną falą w potoku wydarzeń, który wiekuisie potrząsa istnieniem.

## ODCZYT DRUGI.

Inercya i koercya; dwa pojęcia ogólne w Teorii Zjawisk Fizycznych<sup>1)</sup>).

Patrzmy na świat wzrokiem nieuprzedzonym. Jakie bogactwo wydarzeń i zmian! Jaka różnaitość przekształceń i zjawisk! Natura, na pierwszy rzut oka, wydaje się splątaniem niezliczonych jakości. Jestże tak rzeczywiście? Czy na dnie rzeczy leżą jakościowe istotne różnice? Oto zagadnienie.

Powinniśmy wyznaczyć, że nie jesteśmy zdolni dotychczas nie tylko rozwiązać, ale nawet roztrząsać podobnych zagadnień. Istnieją różnorodne nauki, które badają świat. Ale nauki te, chociaż budzą w nas podziw i cześć, jako potężne duchowe zjawisko, przecież, postawione

<sup>1)</sup> Wygłoszony na posiedzeniu publicznym Akademii Umiejętności w Krakowie, w dniu 14-ym maja 1902 r.

naprzeciw promiennej Naturze, zdradzają czem są: są próbą lękliwą i tylko początkiem usiłowania.

## I.

W Fizyce przywykliśmy patrzeć w tak zwany świat materialny, w martwą Naturę. Zająwszy to stanowisko, nie umiemy dotychczas stanąć na innem. Więcej powiemy: zająwszy to stanowisko, zatoczywszy taki widnokrąg, nie umiemy dotychczas objąć go jednym spojrzeniem. Wiedzy naszej o martwej Naturze nie zdołaliśmy ułać w kształt jednolitej, konsekwentnej Nauki. Możemy tylko powiedzieć, że jakkolwiek jesteśmy odlegli od osiągnięcia takiego celu, zmierzamy ku niemu.

## II.

Możemy już dziś bez trudności odróżnić, w nieożywionej przyrodzie, dwie dziedziny, dwie kategorie zjawisk: zjawiska, które trwają i te, które się kończą.

Wiemy na przykład, że trwa ruch obrotowy ziemi i roczny jej bieg koło słońca. Wiemy, że trwa ruch księżycy i planet, ruch rojów i komet, ruch słońc i układów słonecznych i gwiazd i strumieni gwiazd w przestworzu

niebieskiem. I ruch drobniejszych ciał, ciał ziemskich, trwa również, gdy nie tamują i nie hamują go przeszkody zewnętrzne. Wahadło waha się długo w powietrzu, kula toczy się długo po lodzie. Głos dobiega daleko, zanim pochłonięty zostanie. Potężne fale, wzbudzone na oceanie, mogą obiedz kulę ziemską, zanim zgubią się i znikną. Wstrząśnienia wulkaniczne rozchodzą się po całej skorupie ziemskiej i, słabiej lub mocniej, wciąż chwieją ład stały pod naszymi stopami.

Trwałość w zjawiskach podobnych, czyli tak zwana w Nauce Dynamiki bezwładność, dostrzegana bezpośrednio zmysłowo, pozostawia w umyśle głębokie wrażenie. Natura daje nam tu istotną, zasadniczą wskazówkę. Niekiedy daje nam ją, uzbrojona w całą swą kosmiczną potęgę; trudno zapomni, kto widział, w czasie całkowitego słonecznego zaćmienia, cień księżycowy, olbrzymi, nadbiegający z nieziemską prędkością. Ale tę samą lekcję fizyczną może nam dać i ruch ziarnka; odsłania przed nami ten sam rys głęboki, choć jednostronny, w urządzeniu wszechświata.

Inny, wspaniały przykład trwającego rodzaju zjawisk znajdujemy w promieniowaniu. Przez próżnię, przez bezgraniczny, powszechny ośro-

dek, bez przerwy, bez kształtu, bez końca, który zalega świat, przez eter (jak fizycy mówią), biegną nieustannie fale niezliczone, fale peryodyczne, rytmiczne jak oddech; biegną, nie słabnąc, tylko rozbiegając się, w czystym eterze, nie zanikając, nie ginąc, nawet na najdłuższych drogach, nawet po opanowaniu przechodzących miarę głębokości przestrzeni. Oto fundamentalne zjawisko; być może najprostsze, najbardziej pierwotne z pomiędzy zjawisk Natury. Powtarzam: są to zjawiska trwające, dopóki nie pochwyci ich i nie zmaćci zwyczajna materya. Gdy się to stanie, spostrzegamy dopiero zazwyczaj, że fale biegły, że dobiegły, że zostały zmienione; i przezywamy je wówczas różnemi podmiotowemi nazwami.

Do szczególnej uwagi pobudza nas tu okoliczność, że i ruch czysty i promieniowanie, trwając, muszą się przemieszczać; zagarnianie przestrzeni jest niejako ich warunkiem lub cechą istotną. Nie znajdziemy nic podobnego w przeciwnej klasie wydarzeń. Wążąc to, niepodobna oprzeć się myśli, że Nauka dojrzała potrafi może przyzwyczaić ludzi do upatrywania wewnętrznego, istotnego związku między przestrzenią a czasem. Takie pojęcia, jak czas albo przestrzeń, nie mogą chyba być niczem

innem, jak tylko pozorem zewnętrznym, dostępnym naszej czynności zmysłowej. Jeżeli nie możemy strząsnąć tej niewoli z myślenia, powinibyśmy przecież zrozumieć przyczyny jej konieczności powszechnej.

### III.

Dostrzegamy jednak w Naturze mnóstwo i mnóstwo wydarzeń, których przebieg jest zgoła odmienny. Wyobraźmy sobie sztabę żelazną, zimną u jednego końca, na drugim gorącą. Stan cieplny tej sztaby zmienia się; pospolicie mówimy, że ciepło płynie w niej od miejsc gorących do zimnych. Płynięcie ciepła zaczyna się żwawo, ale niebawem słabnie, zanika i całkiem zamiera. Ostatecznie docieramy do stanu wyrównanej, jednostajnej temperatury, czyli do równowagi cieplnej, jak się wyrażamy. Według tego wzoru odbywa się wiele zjawisk w materialnym wszechświecie. Dwa ciała gazowe przenikają się żwawo nawzajem, dopóki nie są wcale lub są mało mieszane; w miarę postępu przenikania słabnie stopniowo dążność do mieszania się, okazywana przez gazy. Podobnie cukier lub sól dyfunduje do wody; podobnie nawet do ołowiu dyfunduje złoto. Podobnie uspakaja się powiew w atmosferze pokoju, prąd

lub wirowanie w dużej masie wody stojącej. Tysiące chemicznych reakcyj odbywają się podobnie. Wodór np. i jod, według znanych nam praw, muszą w każdej temperaturze utworzyć częściowo związek ze sobą a w części pozostać swobodne; układ, który zawiera wodór, jod, jodowodór w innym niż przepisany stosunku, jest w nierównowadze, zmienia się, dąży do równowagi; lecz dąży coraz powolniej, im bliżej mu do jej osiągnięcia. Pole elektryczne w jakimkolwiek gatunku materii dąży do zniknięcia, podobnie jak stan temperatur niejednakowych w sztabie żelaznej. To zanikanie, niejako zluźnianie istniejącego (często podtrzymwanego przez nas) pola elektrycznego, jest treścią zjawiska, zwanego prądem elektrycznym. W tych i w wielu przypadkach podobnych, wprost przeciwnie niż przód w zjawiskach »bezwładnych«, widzimy zmienność i przerażanie się stanów, które, choć coraz leniwiej, zdążają do kresu, do uspokojenia się zaburzeń, do stanu niezmienności, do r ó w n o w a g i.

### IV.

Powracamy teraz do zjawisk kategorii poprzedniej, »bezwładnych«, czyli tych, które trwają; musimy o nich powiedzieć, że są to

tylko utwory myślowe, abstrakcje, oderwane od rzeczywistości. Nauka Dynamiki, naprzykład, zajmuje się ruchem. Ale w Naturze niema ruchu czystego; każdy ruch rzeczywisty jest zawile splełany ze zjawiskami innemi, bądź z rodzaju trwających, bądź z drugiej kategorii, zanikających. Zatem Dynamika jest tylko idealizującą nauką, której założenie jest od początku za ciasne. Rozumiemy to wszyscy; a jednak uprawiamy Dynamikę, cenimy ją bardzo wysoko, stawiamy niemal za wzór. Czy możemy inaczej postąpić? Naturę, niezmierną Naturę, pragniemy objąć daną nam zdolnością myślenia; pragniemy ją pojąć, pomimo, że jest niewypowiedzianie zawiła. Stając na stanowisku Dynamiki, prawda, że dopuszczamy się fundamentalnej jednostronności; prawda, że zaniedbujemy z nią razem ogromnych innych stosunków i związków; ale przecież, według jej reguł, cośkolwiek bądź rozumiemy w Naturze.

Tą drogą poprowadził nas Newton, wielki przywódzca. Newton ostatecznie pokazał, że w ruchu brył w przestworzu niebieskiem jest prawidłowość, którą człowiek jest zdolny zrozumieć. Uogólniając to (już i tak wielkie) dzieło, Newton poznał powszechne prawa ruchu, t. j.

ruchu wszelkich ciał w dowolnych warunkach. Więc Newton stworzył oderwaną Dynamikę, której Mechanika Niebieska jest prostym rozdziałem.

Dzisiaj, gdy o tem myślimy, musimy powiedzieć: trzeba nam dziwić się, trzeba się zdumiewać, że można było odkryć prawa ruchu, nie troszcząc się wcale o pozostały kompleks Natury. Pomyślimy naprzykład o naszym układzie słonecznym. Przecie to jedno ogromne, jedno łączne, jedyne zjawisko. Tylko przez proces myślowy wydzielamy z tej całości zjawiska ruchu składowych części układu. Jakże mógł Newton poznać prawo ciężenia, wcale nie zważając, czy i jak słońce stygnie, jakie są zmiany magnetyzmu ziemskiego, jakie dzieją się w tym układzie chemiczne reakcje? Czemu np. elektromagnetyczne zjawiska, zwłaszcza zaś zjawiska promieniowania, w układzie słonecznym, nie miałyby wpływać na ruch jego części? Czemu przeciwnie ruch, np. ruch ziemi, nie miałby wpływać na przebieg elektromagnetycznych, więc i optycznych, zjawisk na jej powierzchni? Takie pytania są zupełnie uzasadnione. Wszak np. optyczne zjawiska odbywają się (jak mawiamy) w powszechnym eterze; tymczasem my, zamieszkali na ziemi, wraz z pracownikami naszymi, wraz z przyrządami,

któremi doświadczamy tych zjawisk, mkniemy w przestrzeni z ogromną prędkością, która wynosi wiele kilometrów na jedną sekundę. Zatem nieomal od stu lat fizycy poszukują wpływu ruchu ziemi na przebieg elektrycznych i optycznych doświadczeń. Ale dotychczas nie znaleziono żadnego.

Wszystko zważywszy, zmienimy, odwrócimy niejako stanowisko, które przed chwilą zajęliśmy. Powiemy: jest to fakt, że mogła powstać odrębna, konsekwentna w sobie, zapewne tylko przybliżona Dynamika; że mogła powstać odrębna Optyka, Elektrostatyka i wszystkie inne Gałęzie Nauki. Widocznie w tym szczególnym przypadku, który nas obejmuje i kształtuje naszą działalność, zadanie Natury przybliżenie lub ściśle rozpada się na niezależne zadania.

#### V.

Taki jest początek każdej Nauki. Każda Nauka powstała dzięki możliwości wyodrębnienia, w odmęcie Natury, pewnego szczególnego i stosunkowo prostego zadania. Takie wyodrębnienie jest konieczne w chwili utworzenia się nowej Nauki; jest pożyteczne, dopóki Nauka wzrasta i wzmaga się bezpiecznie w potęgę; ale przecież, wobec spójni i jedności Natury,

jest tylko sztucznym wybiegiem, sprzecznym z jej ukrytą harmonią. Ta sprzeczność, ta sztuczność wychodzi na jaw w dalszym rozwoju Nauki; w bujnym młodym pędzie myśl ludzka rozsadza ściany, któremi ogrodziła się dobrowolnie; więc dąży koniecznie do odmiany celu Nauki, do rozszerzenia jej podstaw, do wznieślenia i, jeśli mi wolno powiedzieć, do uszlachetnienia jej stanowiska.

Mówimy naprzykład, że dostrzegamy, w nieożywionej Naturze, zjawiska ruchu, zjawiska cieplne, chemiczne, elektromagnetyczne. Ale pamiętajmy, że to wszystko mówimy w umówionym, konwencyonalnym języku. Wszystkie te rodzaje zjawisk my tylko, my sami upatrujemy w Naturze. Wszystkie to są abstrakcje; to nie są zjawiska. Nie są to nawet części zjawisk; są to przecięcia przez zjawiska. Na swoich planach ukazuje nam budowniczy raz poziome, to znów pionowe przecięcie budynku; podobnie Nauka Fizyki, w rozlicznych swoich teoriach, daje nam przekroje przez wszechświat, znalezione ze szczególnych punktów widzenia.

#### VI.

Termodynamika jest próbą wydobycia się ze stanowisk ciasnych i szczegółowych. Termody-

namika nie dzieli zagadnień, które roztrząsa, na części, lecz usiłuje roztrząsać je w całości.

Przekonywamy się w Termodynamice przede wszystkim, że zwykła Dynamika jest tylko jednym szczególnym przypadkiem, tylko pewnym przykładem; że obok niej może istnieć wiele, nieskończenie wiele Dynamik. Gdy Newton na przykład i jego następcy w XVIII stuleciu pragnęli rozpoznać prawa rozchodzenia się głosu w powietrzu, w sposób właściwy zwyczajnej Dynamice, było to próżne usiłowanie. Zadanie to leży w innej prowincyi, w Dynamice Adiabatycznej, jak dzisiaj mówimy, lub powinniśmy mówić. I kiedy Laplace je rozwiązał, stworzył, obok zwyczajnej Dynamiki, drugą, która, wraz z niezliczonymi innymi, mieści się dziś w rozleglejszym gmachu Termodynamiki.

Są jednak i takie przypadki, w których żadna Dynamika nie jest możliwa; są to te, w których zjawiska trwające czyli bezwładne i zjawiska, dążące do kresu czyli zanikające, są tak ze sobą splątane, że nie możemy oderwać jednych od drugich bez zadania im gwałtu, bez przecięcia nici istotnej łączności. Tak zatem określimy Termodynamikę. Jest to Teorya, która nie dzieli zjawisk na bezwładne i zanikające, ale bada je i chce opanować w całości.

## VII.

Oto programat tej Nauki; programat z pewnością zuchwały, zadanie niezmiernie rozległe. Nie możemy temu się dziwić, że tylko część dzieła, może część drobna, jest dokonana.

Mamy dotychczas Teoryę Równowag. Termodynamika nie zbadała dotychczas prawdziwości ogólnych w przebiegu zjawisk fizycznych, ale odkryła wspólną właściwość wszystkich, które odbywać się mogą. Poznaliśmy cechę, którą noszą wszystkie zjawiska możliwe, zgodne z Naturą. Wyobraźmy sobie układ, w którym, skutkiem narzuconych warunków, możliwe są tylko przemiany, nie mające tej cechy, więc przeciwne Naturze. W takim układzie możliwość wydarzeń jest przecięta, bądź przez warunki, bądź przez prawa Termodynamiki; zatem w takim układzie nic stać się nie może; równowaga musi tam panować. Idąc tą drogą, Termodynamika uczy przepowiadać równowagę, do której zdążają zjawiska zanikające, do której one inne zjawiska prowadzą; uczy wynajdywać warunki równowagi czyli poznawać jej prawa. Naprzykład, każdy plyn może być w równowadze w razie zachowania pewnych warunków; Termodynamika zatem po-



daje zasady Hydrostatyce lub Teorii Włoskowatości. Podobnie, Teorii Sprężystości Termodynamika dostarcza dostatecznej podstawy. Elektrostatyka może być zbudowana na fundamencie termodynamicznym. To samo można powiedzieć o innych gałęziach Nauk Fizycznych; opierają się one o Termodynamikę. Niekiedy wyrastają z niej nowe. Przed niedawnym czasem, na podstawie danej przez Balfour-Stewarta i Kirchhoffa, dostrzegli Bartoli, Boltzmann, Wien, Planck i inni badacze, że (w pewnych założeniach) może być mowa o termodynamicznej równowadze energii promienistej. Promieniowanie, poddane warunkom podobnej równowagi, nazywamy (ze względów raczej ubocznych) promieniowaniem *czarnem*. I oto mamy już dzisiaj zarysy nowej, nieoczekiwanej Nauki: Termodynamiki Promieniowania. Lód wobec wody, woda wobec pary wodnej, kryształy soli wobec swego roztworu, roztwór wobec swego rozpuszczalnika mogą być w równowadze; Termodynamika znalazła prawa tych i podobnych równowag. W tryumfalnym zaprawdę pochodzie przez dziedzinę Chemii, Termodynamika przyniosła tej Nauce początki porządku.

## VIII.

W miarę rozszerzania się granic jej użyteczności, myśli, które leżą na dnie Termodynamiki, wznoszą się coraz wyżej po nad *szczególne* rzeczywistości, ale *istotę* jej obejmują coraz to ściślej w potężne zarysy. Im dalej posuwa się ta praca (w której imię amerykańskiego badacza J. Willarda Gibbsa będzie zawsze z czią wspomianane), przekonywamy się nie bez zdziwienia, że uogólniona Termodynamika układa się w kształty coraz bardziej podobne do klasycznych form, które zwyczajna Statyka przybrała od przeszło stu lat.

Wiadomo, że każde zadanie Statyki jest z góry rozwiązane przez ogólną zasadę tej Nauki, t. zw. zasadę pracy wirtualnej. Jeden wzór, jeden wiersz pisma, wyowiada zawartość Nauki Statyki. Ale nie powinniśmy temu się dziwić; ów wiersz jest *istotną treścią* odkryć pokoleń: od Archimedesza aż do Lagrange'a. Otóż w Termodynamice Równowag dochodzimy dzisiaj podobnie do zagęszczenia treści Nauki w jedną prostą formułę. Formuła ta jest całkiem podobna do formuły Statyki. Dla dogodności, dla uproszczenia, wprowadzamy często do rozumowań Statyki pewne ilościowe pojęcie,

pewną funkcję stanu układu, t. zw. potencjał; tej funkcji powierzamy często wysłowienie zasady Statyki. W Termodynamice wprowadzamy również »potencjał«, termodynamiczny potencjał i mamy od niego podobne usługi jak w Statyce. Nareszcie, i to jest okoliczność godna uwagi, termodynamiczny potencjał jest *prostem uogólnieniem* statycznego; otrzymuje się z niego przez uwzględnienie cieplnej strony równowag. A zatem mamy tutaj coś więcej, niż analogię formalną; mamy łączność dwóch Nauk, objęcie całej treści jednej Nauki przez drugą.

Dotąd dotarliśmy w Teorii Równowag. Powiedzieliśmy jednak, że Teoria Równowag jest tylko odłamem Termodynamiki takiej, jakiej potrzeba nam w Fizyce. Równowaga jest krańcem zjawiska; poznawszy ją, znamy niejako powierzchnię rzeczywistości. Znajdujemy się wówczas w położeniu żeglarza, który opłynął wyspę, lecz na nią nie wysiadł i nie zbadał jej wnętrza. Nie zatrzymamy się przecież w Nauce; nie porzestaniemy na Teorii Równowag. Będziemy szukali praw, które przewodniczą *odbywaniu się* zjawisk. Będziemy szukali »praw zmienności«. Choćbyśmy ich nie znaleźli, trud nasz posłuży komuś, kto przyjdzie po nas i oświeci się naszym błędzeniem.

## IX.

Powróćmy znowu do zjawisk, jak je nazwaliśmy, zanikających. Jeden z największych mistrzów Nauki naszej, Fourier, był tu przed nami i w jednym oddziale, w przypadku przewodnictwa cieplnego, zostawił nam wzór matematycznej teorii, dzieło piękne, jak posąg helleński. W innych oddziałach inni uczeni szli analogicznymi drogami, tak iż mamy dziś w Fizyce zastęp Fourierowskich teoryj. Ale rzeczywistość jest niedościgniona; Fourierowskie teorie są tylko krokiem na prawdziwej drodze.

Czy nie możemy odważyć się dzisiaj na próbę uogólnienia? Przypuśćmy, że zajmujemy się uspokajaniem się, w określonym materyalnym układzie, pewnego wiadomego rodzaju zaburzenia. Musimy wyobrazić sobie, że miarą postępu tego zjawiska jest pewien przepływ, przepływ pewnej ilości, w jednostce czasu, przez jednostkę pola. Naprzykład postęp w dyfuzji azotu i tlenu zmierzmy, podawszy przepływ (masy) azotu lub tlenu w każdym określonym miejscu mieszaniny. Postęp w uspokajaniu się wzburzonego powietrza zmierzmy, podawszy ilość ruchu, przeniesioną przez płyn,

przez upatrzoną jednostkę pola, w sekundzie. Postęp w przewodzeniu ciepła wyrazimy ilościowo przez jednostkowy przepływ, w różnych punktach układu, ciepłej energii.

Teraz, od czego ten przepływ zależy? Powiadamy ogólnie, że zależy od bodźca zjawiska. W dyfuzji azotu i tlenu bodźcem zjawiska jest gęstość niejednostajna bądź azotu, bądź tlenu; spadek tej lub tamtej gęstości na jednostce długości jest przybliżoną miarą działającego tu bodźca. W tarciu wewnętrznym bodźcem, mówiąc ogólnie, jest prędkość względna warstw sąsiadujących ze sobą; a zatem spadek prędkości na jednostce długości. W przewodnictwie cieplnym bodźcem, w pierwszym przybliżeniu przynajmniej, jest spadek temperatury na jednostce długości.

Fourier, ażeby utworzyć teorię przewodnictwa cieplnego, przypuścił, że przepływ jest zawsze proporcjonalny do bodźca. Jest to myśl tylko bliska do prawdy. Czynność bodźca nie polega tylko na sprawianiu przepływu. Bodziec okazuje jeszcze inne działanie; oto niestannie zmienia natężenie przepływu. A zatem bodziec zmusza do płynięcia ową ilość, która przepływa (masę, ilość ruchu, energię); ale nadto nadaje impet tej przepływającej ilości.

Prawda, że impet ten, w Fourierowskich zjawiskach, jest stosunkowo nieznaczny; ale dość go zaniedbać, aby stracić związek z całą pozostałą Nauką, jak to stało się właśnie w Fourierowskich Teoryach.

Dlaczego ten impet jest słaby? Albowiem w znacznym stopniu przemaga go koercya, ogromny opór wewnętrzny, zawsze czynny w materii. Nie znamy jego ostatecznej istoty, ale odkryliśmy, za przewodem Maxwella, prawo koercyi i wiemy, że ono jest proste. Koercya jest potężna, ale nie jest nieskończenie potężna, jak przypuszcza się milcząco w Fourierowskich Teoryach. Weźmy przykład. Azot przenika do tlenu. Opór tlenu hamuje płynięcie azotu; ale gdyby mógł je całkowicie powstrzymać, nie byłoby wcale zjawiska dyfuzji. Koercya zmniejsza prędkość płynięcia, ale nie niszczy jej doszczętnie. A skoro tylko gaz płynie, więc ma impet, bo ma bezwładność. I ciepło ma także bezwładność, choć bardzo małą. W gazie, który przewodzi ciepło, możemy wyobrażać ją sobie jako bezwładność pojedynczo biegnących cząsteczek. W metalu, przewodzącym ciepło, możemy ją położyć na karb elektronów, owych elektrycznych przesyłek, które atomy materii posyłają sobie i odbierają wzajemnie; bo czem-

kolwiek są elektrony, okazują one bezwładność. Ale rzecz najważniejsza, ażebyśmy sam fakt jasno spostrzegli i zrozumieli wszystko, co za sobą pociąga.

## X.

Dotychczas mówiliśmy o jednym rodzaju bodźców: o bodźcu wewnętrznym albo istotnym. Ten jest w prosty sposób związany ze znanym nam już termodynamicznym potencjałem. Jest on, przynajmniej w najprostszych przypadkach, spadkiem tego potencjału na jednostce długości.

Ale i zwyczajna siła, siła w Dynamice, jest bodźcem. Ten rodzaj bodźca nazywamy zewnętrznym. Suma (lub wypadkowa) wszelkich rodzajów bodźców jest bodźcem ostatecznym i stanowi proste uogólnienie pojęcia siły, znanego z Dynamiki. Gdy jakabądź masa porusza się jako całość, gdy cząsteczki nie mieszają się, nie wbiegają do masy i z niej nie wybiegają, bodźca wewnętrznego niema i cały bodziec sprowadza się do zwyczajnej siły Dynamiki. Prędkość zmieniania się przepływu sprowadza się wówczas do zwykłego przyspieszenia. Koercyi niema w przypadku czystej Dynamiki; więc powracamy do dwóch pierwszych

praw ruchu Newtona, których uogólnieniem jest prawo przepływu i bodźca.

Możemy krótko powiedzieć: w czystej Dynamice, w idealnej Hydrodynamice, w idealnej Teorii Sprężystości opuszczamy z uwagi koercyę. W Fourierowskich Teoryach zjawisk zanikających zaniedbujemy bezwładność, czyli inercyę. Udoskonalona teoria nie posługuje się temi przybliżeniami. W każdym materyalnym zjawisku mamy zarazem: koercyę i inercyę a stosunek ich ilościowy bywa rozmaity w najszerszych granicach.

Istnieje tylko jeden układ, prawdziwie pozbawiony koercyi: to próżnia, czyli eter powszechny. Każde zjawisko, które odbywa się w czystym eterze, jest grą nieokiełznanej inercyi.

## XI.

W połowie XIX stulecia, nauczeni od Lorda Kelvina, dostrzegliśmy wszyscy powszechną i nieustanną w przyrodzie działalność koercyi. Zapatrzeni w tę stronę, czy nie przyzwyczailiśmy się zbyt nisko cenić inercyi, która jest niejako bujnością Natury? Widzieliśmy przed chwilą objawy inercyi nawet w takich przypadkach, które poczytywano zwyczajnie za wzorowe przykłady koercyi. Gdzie zmiana ja-

kakolwiek wynikła, gdzie zdarzyło się zjawisko, tam działał bodziec; bodziec zaś nie działa inaczej, jak tylko wytwarzając impet, choćby najmniejszy, według praw inercyi. Znamy przykład działania inercyi bez koercyi: eter, jak rzekliśmy. Nie znamy przykładu działania koercyi bez inercyi. Takie zatem są osi, około których kręci się świat zjawisk; żadna nie jest mniej ważna, mniej istotna od drugiej.

## XII.

Zdarza się, iż zjawiska trwające wikłają się z zanikającymi w sposób najrozmaitszy. Jeżeli poznamy prawa jednych i drugich, rozważanych z osobna, potrafimy wyświecić, jak się składają i łączą ze sobą; sprostamy wówczas i owym złożonym zjawiskom.

Ażeby to wytłomaczyć, sięgnijmy znów do Dynamiki. Newton dał prawa ruchu, ale dał je w postaci jeszcze stosunkowo konkretnej, noszącej jeszcze lękliwe ślady dróg, na których znalezione zostały. Po Newtonie był Lagrange i tylu innych myślicieli; rozszerzyli jego naukę, stworzyli Dynamikę uogólnioną lub Lagrange'owską. W Dynamice Newtona roztrząsamy istotny ruch punktów, elementów lub ciał; więc w niej tak zwanymi zmiennymi nie-

zależnymi są istotne, przestrzenne spólrzędne. Lagrange'a Dynamika uwalnia się z pod tego przymusu. Możemy w niej obrać zmienne niezależne jak nam się podoba, byle tylko to były zmienne dynamiczne; reguły Dynamiki uogólnionej stosują się po każdym wyborze. Można je wypowiedzieć pod różną postacią. Jeśli przypuścimy, że wybraliśmy zmienne jakiegokolwiek bądź, mamy równania Lagrange'a; to są równania zmienności w uogólnionej Dynamice. Można powstrzymać się nawet od takiego przypuszczenia, uniknąć nawet pozoru dokonania wyboru; nie mamy wówczas wyraźnych równań zmienności, lecz mamy *metodę* tworzenia ich w każdym przypadku; mamy formułę *najmniejszego działania* lub *Zasadę Hamiltona*; z tego źródła równania zmienności wywiodą się zawsze. Tak poznajemy treść owej prawdy, która tkwi w zasadach Newtona, lecz powierzoną rozleglejszym pojęciom.

Wyobraźmy sobie teraz wahadło w cieczy lepkiej (czyli obdarzonej tarcie wewnętrznym); lub gaz, który jednocześnie rozpręża się, płynie i przewodzi ciepło; pomyślny, że kryształ soli rozpuszcza się, płynąc po rzece; że topi się kawałek lodu, który wstrząsają drgania sprężyste. Usiłujmy przez chwilę wyobrazić so-

bie, co dzieje się w płomieniu, jaki jest przebieg fali wybuchowej, szerzącej się w mieszaninie tlenu i wodoru. Zagadnienia podobne leżą daleko poza granicami Dynamiki, nawet uogólnionej; wykraczają one podobnie poza ramy dotychczasowej Termodynamiki. Zagadnienia te leżą w dziedzinie, którą nazwano Termokinetyką. Jest to jeszcze młoda Nauka; uprawia ją mała garstka badaczy, której profesor Duhem przywodzi. Ale i ona odsłoniła już widok nieoczekiwany. W Termokinetyce mamy znowu równania Lagrange'a, tylko uzupełnione; mamy w niej znowu twierdzenie Hamiltona, tylko sformułowane o jeden odcień ogólniej. I co jest ważne, co jest zdumiewające: owo uzupełnienie lub uogólnienie, które jest potrzebne, ażeby równania Lagrange'a i zasadę Hamiltona przenieść z Dynamiki do Termokinetyki, jest w gruncie rzeczy ściśle tym samym aktem logicznym, który, jak powiedzieliśmy wyżej, z głównej zasady Statyki czyni fundamentalną prawdę termodynamicznej Teorii Równowag.

### XIII.

Prawdziwie: nauka nasza o świecie jest tylko próbą, jest usiłowaniem nauki. Wiemy mało;

stoimy widocznie u początku drogi. Ocean zjawisk, jak dla Newtona, i dla nas jest tajemniczy. A jednak już dziś, u progu rozumienia, po każdym kroku naprzód stajemy olśnieni i długo przyzwyczajamy wzrok do rozległości dostrzeżonych widoków. Więc czemuż jest w całej pełni ta Nieskończoność, którą nazywamy Naturą?

Spływa z niej nieprzeparty majestat. Wobec tego wszecharcydziela kto potrafi pamiętać o celach drobnych i niskich? Tylko bezstronność, tylko szczerłość, usilność, która w pokuszeniu się zapamiętała, rozważa ścisła, nieustanna i niezachwiana surowość, tylko prawość i sumienie w myśleniu są zdolne, są godne czytać w Księdze Natury.

Więc Nauka, chociaż jest tylko usiłowaniem i próbą, jest potęgą moralną, jest szlachetną i czystą Mistrznią. Niech kraj nasz o tem zawsze pamięta.

## ODCZYT TRZECI.

O Teoryach Materii<sup>1)</sup>.

Dlaczego stal jest wytrzymała, kreda zaś jest krucha? Czemu miedź nie jest przezroczysta, jak szkło? Dlaczego żelazo nie poddaje się uciskowi równie łatwo, jak woda? Gdy topi się wosk, gdy alkohol wre, gdy cukier rozpuszcza się w wodzie, co dzieje się istotnie, co odbywa się pod powierzchnią zewnętrznego pozorów? Otoczeni jesteśmy materią i nie rozumiemy jej zachowania. Powinniśmy dziwić się codzien, nieustannie, jak małe dzieci, które w tym względzie są lepszymi od nas filozofami.

Stajemy przed całym korowodem zagadnień; ale one kulminują wszystkie w zapytaniu, które możemy sformułować jak następuje. Czy jesteś-

<sup>1)</sup> Wygłoszony w Auli Uniwersytetu Jagiellońskiego w dniu 6-tym listopada 1902 roku.

my w stanie objąć ogół wrażeń zmysłowych, które otrzymujemy od materii (lub które za pochodzące od materii uważamy), czy możemy, powiadam, opanować go i ogarnąć przy pomocy prostszych, nielicznych, jednolitych symbolów logicznych? Oto jest zagadnienie bardzo dawne, na które historia myśli ludzkiej przytacza jednomyślną odpowiedź: hipotezę atomistyczną.

## I.

Możemy dzielić ciała: nie tylko mechanicznymi środkami, lecz (znacznie skuteczniej) pośrednimi drogami. Cukier rozpuszcza się w wodzie; po słodczy, której cieczy udziela, poznajemy, że jego cząstki rozeszły się po całym roztworze. Drobną ilość rozaniliny wystarczy, ażeby zabarwić wiele litrów wody. Najmniejsza cząstka sodu nadaje ostrą barwę żółtą płomieniowi wodoru. Materia zatem rozdrabnia się łatwo, daleko, niekiedy niejako dobrowolnie; wówczas rozbiega się i rozprasza się sama, jak to widzimy w zjawiskach *dyfuzji*. Tlen dyfunduje przez azot i azot przez tlen; sól dyfunduje przez wodę; według Robertsa-Austena, nawet złoto dyfunduje przez ołów. Przykłady jeszcze dalszego, jeszcze zupełniejszego dzielenia się ma-

teryi mamy w zjawiskach chemicznego łączenia, rozpadania i podstawiania się ciał. Więc trudno jest powstrzymać się od przypuszczenia, że ciała to *tłumy*, zbiorowiska, złożone z indywidualów: z cząstek, z cząsteczek, molekuł, atomów. Może, kto chce, ten świat molekularny rysować, układać, budować przed swym wzrokiem duchowym. Chłodniejsza, zapewne dojrzała rozważa dostrzega w nim obraz, w którym złożyliśmy prawa pewnych klas zjawisk, przedewszystkiem zjawisk dyfuzji, zjawisk elektrolizy, ionizacji, oraz zjawisk chemicznych.

## II.

Zajęliśmy już pierwsze z pomiędzy stanowisk, na których będziemy próbowali stać, z których będziemy usiłowali rozglądać się w niniejszym szkicu ulotnym. Nazywam to stanowisko *statystycznym*. Molekularna Teoria Materii może ograniczać się bowiem do statystycznego badania objawów czynności i działań cząsteczek. Roztrząsa wówczas ich łączne, tłumne czyli gromadne objawy, nie sięgając do indywidualnych cząsteczek. Bada je zresztą empirycznym sposobem: próbując, czy pewne założenia stosują się, czy nie; sondując, dokąd one

sprawdzają się lub *o ile*. Rachunek Prawdopodobieństwa, którym posługuje się ta Nauka, służy, pomimo pozorów dedukcji, tylko do podobnego *konstatowania*.

Weźmy przykład. Wyobraźmy sobie walec i podzielmy go w myśli idealną płaszczyzną na dwie części: górną *A*, dolną *B*. Przypuśćmy, że walec jest wypełniony gazem; cząsteczki, wiemy to z doświadczenia, znajdują się zawsze *w obu* częściach: *A*, *B*. Nie wydarza się nigdy, ażeby wszystkie cząsteczki, choćby przez chwilę, skupiły się w *A*, część *B* zaś pozostawiły próżną. Czy takie wydarzenie jest *niemożliwe*? Ze stanowiska Teorii Molekularnej Statystycznej musimy powiedzieć, że jest tylko niezmiernie mało prawdopodobne. Założenia tej Teorii (prawda, że wywiadowcze, jak mówiliśmy wyżej) nie pozwalają nam mówić o niemożliwościach; lecz wykluczając je, zarazem czynią je niepotrzebnymi. Nieprawdopodobieństwo wystarcza, w świecie cząsteczek, ażeby pobudzić do zmian, czyli do zjawisk. Wyobraźmy sobie, że płaszczyzna, o której mówiliśmy, jest prawdziwą ścianą czyli materialną przegrodą. Przypuśćmy, że w części *A* znajduje się gaz, że w części *B* mamy próżnię. Jeśli usuniemy (lub wogóle jakkolwiekby unieścwiemy) przegrodę, wów-



czas, w pierwszej chwili po jej zniknięciu, tłum cząsteczek znajduje się właśnie w stanie poprzednio uważanym, niezmiernie nieprawdopodobnym: w *A* są wszystkie cząsteczki, w *B* niema ich wcale. Gaz zatem wychodzi z tego stanu; moglibyśmy powiedzieć, że z niego ucieka; dąży do przybrania prawdopodobniejszych, rzuca się ku nim. Nieprawdopodobieństwo jest jak gdyby zgorzeniem w świecie cząsteczek; wszystko dzieje się, co może się stać, ażeby je zniweczyć lub przynajmniej zładzić. Cząsteczki, jak również atomy materii, przybierają w przestrzeni, w stanie równowagi, rozkład *najprawdopodobniejszy*, możliwy w danych warunkach, jeżeli nie ulegają działaniu *sił*, molekularnych lub atomowych.

Zasada ta jest ze wszech miar analogiczna do prawa bezwładności w czystej Dynamice. Jak to prawo w Dynamice, zasada ta, w Molekularnej Teorii Materii, wyznacza przypadki, w których powinniśmy posługiwać się pojęciem *sił*. Jeżeli punkt materialny porusza się nie jednostajnie i prostolinijnie, wnosimy, że na punkt ten działa siła. Jeżeli cząsteczki lub atomy materii w stanie równowagi nie dążą do przybrania najprawdopodobniejszego w przestrzeni rozkładu, wnosimy, że ulegają działaniu

*sił*. Na tej podstawie moglibyśmy uzyskać ściśle określenie tak zwanych chemicznych *sił* a zapewne i dostateczną zasadę do ilościowego wyrażania ich natężenia.

W stanie równowagi mamy zatem osiągnięte (bezwzględne, lub częściej tylko względne) *maximum* prawdopodobieństwa rozkładu cząstek w przestrzeni. W burzliwych stanach zmienności odległość od *maximum* jest wewnętrznym bodźcem zjawiska; do wewnętrznego przyłączają się zazwyczaj zresztą bodźce zewnętrzne. Materia poddaje się wprawdzie działaniu tych bodźców bezwładnie, zarazem jednak usiłuje je tłumić. Jeżeli efekt bezwładny przeważa, Natura *przerzuca się* od stanów ku stanom: wyglądając nieprawdopodobieństwo pierwszych, wytwarza nowe nieprawdopodobieństwo w drugich. Ale wówczas wytworzone, nowe nieprawdopodobieństwo musi być *mniej* od zniweczonego dawnego. Albowiem przyroda nie pracuje inaczej, jeno z zyskiem na prawdopodobieństwie. Więc mamy wahania, w jedną i w drugą stronę, ale coraz słabsze, albowiem zawsze tłumione. Z tego biegu rzeczy, z tego zanikającego falowania nieprawdopodobieństwa, które dostrzegamy w zjawiskach, Teoria Molekularna Statystyczna zdaje ogólnikową sprawę.

Gdyby Teoria ta zdołała wyrazić ów bieg ilościowo, opanować go zatem ściśle a zarazem dostatecznie ogólnie, doniosłość jej w Filozofii Zjawisk byłaby niezmierna.

Możemy wyobrazić sobie, że właściwy tej Nauce sposób myślenia okaże się trafny poza jej dzisiejszą granicą. Z mnóstwa przykładów przytoczymy jeden. Mówimy codziennie o *trudności* lub o *łatwości* wykonania pewnego doświadczenia, urzeczywistnienia pewnego zjawiska. Pomyślmy, jak bardzo niejasne, nie ilościowe a zatem nie naukowe jest pojęcie, którem posługujemy się w takich razach. *Podniesienie lokalnego nieprawdopodobieństwa*, nieodzwrotnie połączone z pewnym zjawiskiem, powinno być uznane za *miarę trudności* wywołania zjawiska. Istotnie bowiem: wywołanie pewnego zjawiska, pokierowanie (w pewnym zakresie) biegiem przyrody, jest zadaniem, sprowadzającym się zawsze do urzeczywistnienia pewnego *xbiegu okoliczności*. Takim zadaniem jest uzyskanie bardzo niskiej lub bardzo wysokiej temperatury, przygotowanie czystego chemicznego indywiduum, urzeczywistnienie widma doskonale czystego w doświadczeniu spektralnym; każdy ścisły naukowy pomiar jest podobnym zadaniem. Umiemy dzisiaj lokalnie zogniskować

nieprawdopodobieństwo tak, jak tego wymaga np. sztuczne otrzymanie dyamentu; nie umiemy skupić nieprawdopodobieństwa i skoncentrować go dostatecznie, ażeby jod lub brom zamienić na chlor.

### III.

Newton stworzył Mechanikę *Niebieską*. Za jego wzorem, przez półtora wieku, największe umysły usiłowały zbudować Mechanikę *Molekularną*. Przez półtora wieku myśl ludzka dostrzegała nieustanną grę *sił* w materialnym wszechświecie. W próżni, w pustej przestrzeni geometrów, widziano bierne, bezwładne atomy. Przez próżnię przeskakiwały *siły* i ożywiały punkty martwej materii. Siły krzyżowały się i wikłały ze sobą, rosły naprzemian i słabły, parły ku sobie atomy lub rozpędzały ich zbiory, niekiedy zaś utrzymywały je w zawilej i misternej równowadze. One przecież sprawiały ciężkość przedmiotów na ziemi, pędziły fale mórz i oceanów; one, nadawszy kiedyś słońcu i planetom ich kształt dzisiejszy, wiodły je odtąd w przestworzu światowym. Więc one były przyczyną, że ciała chemicznie się łączą, że światło załamuje się, że magnes przyciąga. One objawiały się w spójności żelaza, w sprę-

żyłości stali, w prężności pary wodnej, we wznoszeniu się wody do rurki włoskowatej, w krystalicznej postaci alunu, szpatu lub soli kuchennej.

Takie były obrazy, któremi, w XVIII-em jeszcze stuleciu, dopomagano sobie w pojmo-  
waniu zjawisk. Na takich zasadach budowano  
przeróżne teorye: teoryę sprężystości, teoryę  
włoskowatości, lepkości; Mechanikę magnesów,  
dielektryków, kryształów; Mechanikę płynów,  
cieczy, gazów, nieważkiego cieplika lub po-  
wszechnego eteru. Laplace, Poisson, Cauchy,  
Navier, plejada największych myślicieli, tak  
myśleli, tak przynajmniej wyrażali myślenie.  
I w tym języku, który wydaje nam się dziś  
archaiczny i zgoła zamarły, dokonano odkryć  
wiekopomnych, na których budujemy dalej.  
Przypomnijmy sobie (naprzykład) molekularną  
Teoryę Sprężystości francuską z pierwszej po-  
łowy XIX-go stulecia. Mamy w niej taki obraz:  
cząsteczki materii równomiernie rozsiane; po-  
między nimi czynne są siły (przyciągające lub  
odpychające) tak zwane *centralne*, to znaczy:  
działające w kierunku linii prostych, łączących  
cząsteczki i, co do natężenia, zależne tylko od  
długości tych linii (Navier, 1822). Wiemy dzi-  
isiaj, że taka Statyczna Teorya Sprężystości

nie może być prawdziwa; albowiem prowadzi  
do wniosków, których doświadczenie nie po-  
twierdza. Wiadomo istotnie, że każde ciało  
stałe sprężyste może być odkształcane w roz-  
maity sposób: może być wyciągane, skręcane,  
może być wyginane, gnieczone, hydrostatycznie  
ściskane i t. d. Pod wpływem tych różnych  
sposobów odkształcania, różne rodzaje spręży-  
stości objawiają się w tem samym ciecie. Owóż  
pomiędzy temi rodzajami sprężystości istnieją  
związki. Ale związki te nie są tak proste i sche-  
matyczne, jak wymagałaby tego Molekularna Sta-  
tyczna Teorya Sprężystości, zbudowana na za-  
łożeniu sił cząsteczkowych centralnych. Wiemy  
dzisiaj (po długim szeregu dyskusyj i badań), że  
ta Teorya jest niewątpliwie za prosta; ostatni  
cios upadającej zadały badania Voigta nad  
sprężystością kryształów. Ale wiemy także, że  
można poprawić tę Teoryę, rozszerzając jej  
założenia. Siły molekularne w ciałach spręży-  
stych nie mogą działać centralnie i symetrycznie  
w przestrzeni. Każda cząsteczka, prócz przycią-  
gania lub odpychania, musi wywierać siły *wy-  
kręcające* na inne cząsteczki. Voigt nas nauczył,  
że, wychodząc z podobnych założeń (których  
domaga się samo przez się zjawisko prawidło-  
wego narastania kryształów) można pogodzić

z faktami Teoryę Molekularną Statyczną. Czy taka hipoteza zgadza się z obrazami, które potrzebne są chemikom? Czy może być wytlómaczona elektromagnetycznie, jak wytlómaczona zostać powinna? Nie mamy jeszcze odpowiedzi na te pytania.

## IV.

Musimy pamiętać o tem, że wraz z Teoryami, które nazwaliśmy *statycznymi*, weszliśmy na grunt Nauki Mechaniki. Odtąd nasze Teorie Materii są nietylko molekularnymi, lecz i *mechanistycznymi* Teoryami zarazem. Jest to okoliczność ważna, do której jeszcze wrócimy.

Poruszamy teraz cząsteczki; niechaj bieżą swobodnie w obrębie, który zajmują. Otrzymujemy obraz molekularny gazowego stanu skupienia materii. Na progu takiej Teorii nasuwa się następujące pytanie. Według praw Mechaniki, ruch odbywa się pod wpływem sił. Czy zatem znamy szczegółowe prawa działania sił cząsteczkowych? Wiemy już z poprzedzającego ustępu, że, gdybyśmy próbowali tych praw się domysleć, spotkalibyśmy się z wielkimi, z niezmiernymi trudnościami. Musimy pójść inną drogą. Opieramy się na pewnych ogólnych założeniach, w których istota działań cząsteczko-

wych znajduje swój wyraz; wyraz zapewne pośredni i może daleki, ale płodny i bogaty w owoce. Takim założeniem jest hipoteza *koercyi*. Według niej, materya zachowuje się biernie, sama przez się, wobec działania czynników zewnętrznych; zakłócenia, wytwarzane przez te czynniki, dodają się, bez zmian i bez opóźnienia, do istniejących zakłóceń. Ale na przebieg wydarzeń w łonie materii wpływają nietylko zewnętrzne czynniki. Wpływa nań również dążność materii, nieustanna, powszechna, zawsze skierowana do osłabienia i zniszczenia zakłóceń, do złuznienia i wygładzenia ich skutków. Ta dążność jest niewyczerpana: gdy wytwarzamy nowe zakłócenie, już wówczas, gdy to czynimy, rozpoczyna się cierpliwa robota, która ma na celu uspokojenie zaburzeń, przywrócenie ładu i ciszy. Im dalej od tego celu, tem znaczniejsza jest dążność, tem usilniejsza jej praca; im bliżej do niego, tem bardziej słabnie i niknie, jak gdyby towarzyszyła jej troska, ażeby nie przeholować, nie wytworzyć przeciwnego zamętu, ażeby płynąć się w swoim dziele i zginać u celu. Tę dążność w materii nazwano *koercją*.

Opierając się na tych lub podobnych założeniach ogólnych, możemy badać ruch cząsteczkowy w gazach i wogóle w płynach, możemy

zdać sprawę z najważniejszych dynamicznych i cieplnych własności gazów i płynów, ze zjawisk ciśnienia, równowagi i ruchu, tarcia wewnętrzznego czyli lepkości, dyfuzji czyli przenikania mas, przewodnictwa cieplnego czyli przenikania energii. Na tych przykładach widzimy wówczas *szczególne przebiegi* i jak gdyby *wewnętrzny mechanizm* tego płynięcia wydarzeń, którego tylko *skutki ogólne* poznajemy w Termodynamice lub w Teoryach Molekularnych Statystycznych usiłujemy wyrazić.

## V.

Stanowisko, o którym przed chwilą mówiliśmy, nazywam *kinematycznym*; albowiem, stojąc na niem, usiłujemy poznać tylko ogólny charakter ruchu cząsteczek i wyciągnąć płynące stąd wnioski, lecz nie usiłujemy przeniknąć praw ruchu elementarnych, nie usiłujemy założeń usasadnić dedukcyjnie, czyli, jak się mówi, objaśnić. Mamy częste przykłady podobnego postępowania w różnych Naukach. Geometria nie zajmuje się roztrząsaniem pytania o właściwej istocie przestrzeni. Mechanika nie bada, czym jest masa, sprężystość lub siła muskularna. Newton nie wytłómaczył bez-

władności ani przeciwdziałania; grawitacyi nie odwrócił (niejako) podszewką do góry. Wskazał powszechną i prawidłową obecność tych faktów i kazał nam przyzwyczaić się do nich. Możliwa jest Optyka, która rozkłada zjawiska świetlne na pewne najprostsze kierunkowe przemiany i tym sposobem ukazuje prawidłowość w zjawiskach, nie troszcząc się o istotę elementarnych przemian, któremi posługuje się, jakby narzędziem. Przeprowadzenie podobnej, w gruncie rzeczy nawet tej samej teorii przez bogatą dziedzinę zjawisk elektromagnetycznych było wielkiem naukowym zwycięstwem, które związało się z nazwiskiem Maxwella.

Jak inne podobne Teorie, Kinematyka Molekularna jest piękną Nauką, której uprawa może dać wiele zadowolenia. Ale powinniśmy wyznaczyć, że granice jej zdolności do czynu istnieją i są łatwo widoczne. Ogrom własności i zjawisk, które ukazuje materya, nie ma w ogóle kresu; co zrozumieliśmy dzięki kinematycznej Atomistyce, jest drobną wysepką na morzu bezbrzeżnem. Nie może być mowy o tem, ażebyśmy chcieli poprzestać na kinematycznych Molekularnych Teoryach. Zamysł dopełnienia ich dynamiczną Molekularną Teorią nasuwa się pomimowoli. Ileż razy podejmowano próby

i usiłowania podobne. Wszakże uczył już Laplace, że »droga, którą cząsteczka powietrza »lub pary zatacza, jest równie określona jak »orbita planety; niema innej pomiędzy niemi »różnicy nad tę, która z niezupełności naszej »wiedzy wynika«. Lecz, ażeby wyznaczyć drogę cząsteczki, trzeba, według zasad Dynamiki, znać prawo działań, wywieranych na cząsteczkę. Ileż razy kuszono się o odgadnięcie pełnych i zupełnych praw działania między cząsteczkami, o wybudowanie, od podstaw, Gmachu Dynamiki Molekularnej. Z tych prób nie powiodła się żadna. Żadna nie ostała się. I może jedna tylko (hypoteza działania odwrotnie proporcjonalnego do piątych potęg odległości, przyjęta przez Maxwella w Teorii Kinetycznej Gazów) przyniosła istotną, chociaż tylko metodologiczną korzyść Nauce.

Zatem, w końcu XIX-go stulecia zapanowało zniechęcenie. Zmęczono się Atomistyką; pojawili się myśliciele, którzy potępili ją z zasady. Niektórzy, mierząc w teorye mechanistyczne, przez nieporozumienie godzili w molekularne; przez nieporozumienie, mówię, albowiem teorya molekularna nie koniecznie musi być zarazem mechanistyczną teoryą. Inni filozofowie, roztrząsając istotę poznawania ludzkiego, uznali Ato-

mistykę za prostą zabawkę umysłu, której błahą naiwności obnażyli (jak mogło się wydawać) wymownie. I gdy Atomistyka była przez nich podana na wzdarcę, stało się, czego najmniej można się było spodziewać. Odepchnięta, niemal ośmieszona doktryna strzeliła płomieniem i nowem światłem zalała nowe obszary Nauki. Nie odparła zarzutów; a przecież zapanowała nad myśleniem pokolenia i prowadzi je do nieoczekiwanych, niemal bajecznych zdobyczy. Mamy na myśli *Teoryę Elektronów*.

Opowiedzieliśmy zdarzenie spóczesne w Historii Nauki; fakt znany, przebyty przez wszystkich, którzy razem z Nauką idą i myślą. Czy podobne zdarzenie nie zasługuje na baczną uwagę filozofów, metodologów, oraz krytyków i teoretyków badania naukowego? Sądźmy, że ono potwierdza poglądy, które, jako słuszne, wskazuje znajomość dawniejszych Dziejów Nauki i bezpośrednie poznanie sposobu jej wzrostu. Nauka nie jest produktem ludzkich postanowień, chęci, zamiarów i życzeń; rozwój Nauki zależy bardzo nieznacznie od panujących chwilowo poglądów, od upodobań i usposobień; rozwój Nauki ma raczej cechy zjawiska naturalnego; on rządzi się własną logiką wewnętrzną, własną nieubłaganą koniecznością chwilową.

Istota tych praw nie jest jeszcze znana; bieg Nauki nie jest rozumiany. Niechaj filozofowie będą obserwatorami; niech nam ten bieg wytłómaczą, objaśnia, niechaj jego prawa odkryją. Lecz niech nie usiłują być prawodawcami Nauki.

## VI.

Wiemy, że atomy materii są zanurzone w ośrodku ciągłym, w powszechnym eterze; że w eterze rozchodzą się (i są nieustannie) zakłócenia peryodyczne czyli fale, którym nadajemy nazwy rozmaite, zależne od naszego subiektywnego względem nich stanowiska, niekiedy od panującego na nie poglądu. Dzisiaj nazywamy je elektromagnetycznymi, albowiem Elektromagnetyczna Teoria Maxwella nauczyła nas patrzeć na nie z wyższego punktu widzenia i pozwoliła dostrzedz łączność, wspólność i jedność owego pasma zjawisk, które nazywamy promieniowaniem.

Atomy materii pochłaniają tedy, załamują, rozpraszają albo wysyłają fale elektromagnetyczne; zatem wolno domniemywać się, że w atomach materii musi być coś elektromagnetycznego. Od wielu lat Elektromagnetyczna Teoria Materii była upragnionem marzeniem badaczy.

Dzisiaj, jeśli nie mylimy się, zbliżamy się do osiągnięcia tego celu.

## VII.

Wyobraźmy sobie dwie kule, bezwładne ale pozbawione ciężaru; niechaj jedna będzie naelektryzowana dodatnio, druga ujemnie. Wyobraźmy sobie, że kule, pozostając wciąż w sąsiedztwie wzajemnem, odbywają małe drgania okresowe. Wiemy, że kule przyciągają się, najmocniej w chwilach największego zbliżenia, najslabiej wówczas, gdy znajdują się najdalej od siebie. A zatem w chwilach największego zbliżenia energia potencjalna układu jest najmniejsza, energia kinetyczna największa; w chwilach największego oddalenia jest przeciwnie. Lecz czemuż jest energia potencjalna, wytworzona przez ładunki elektryczne? Według pojęć współczesnych, jest to energia otaczającego eteru lub (powiedzmy) pola elektrycznego czy elektromagnetycznego, które rozciąga się dokoła miejsc zakłóconych. Zatem, podczas drgania kul, energia pola elektromagnetycznego ulega okresowym wahaniom, rosnąc naprzemian i słabnąc, w takt wahaniami się wartości kinetycznej energii. Przypuśćmy, że drgania odbywają się niezmiernie szybko; wahania energii pola będą także nie-

zmierne szybkie i pole w sąsiedztwie kul będzie podobne do pola, wypełnionego elektromagnetycznymi falami.

Atomy materii wysyłają fale elektromagnetyczne; zatem możemy domniemywać się, że w atomach materii istnieją elektryczne ładunki. Zeeman w roku 1896-ym odkrył, że linie widmowe ulegają działaniu pola magnetycznego. Skoro tylko ciało, które wysyła promieniowanie, np. płomień sodowy, poddajemy działaniu pola magnetycznego, linie widmowe tego promieniowania przeobrażają się: w najprostszym przypadku rozdwarzają się (dla obserwatora patrzącego w kierunku linii pola) lub roztrajają się (dla obserwatora patrzącego prostopadle do linii pola). To zjawisko wskazuje, że atomy materii zachowują się tak, jak gdyby zawierały w sobie elektryczne ładunki. Element materialny, niosący w sobie prąd, doznaje działania siły, w obcym polu magnetycznym, która jest znana dokładnie, co do wartości i co do kierunku. Jeżeli atom materii zawiera w sobie elektryczny ładunek; jeżeli normalne drganie tego ładunku jest źródłem zwykłego promieniowania atomu, tedy zjawisko Zeemana jest wytłómaczone. Albowiem drganie ładunku jest równoważne prądowi elektrycznemu w atomie

materii. Rachunek wykazał, że ładunek elektryczny, który powinniśmy przypisać atomowi materii, w celu zrozumienia zjawiska Zeemana, jest *ujemny*; i pozwolił wyznaczyć stosunek ładunku do masy owego *czegoś*, co drga naprzykład w płomieniu sodowym i wysyła fale. Wspomagając się pewnymi prawdopodobnymi założeniami, obliczono, że ta masa jest *mniejsza* niż masa atomu wodoru, najmniejsza masa materialna, z jaką Nauka spotkała się była, badając wszystkie inne zjawiska; obliczono, że wynosi mniej niż jedną tysięczną część masy atomu wodoru. Zatem, gdy np. rozgrzany wódór wysyła fale, w każdym atomie drga mniej niż tysięczna część atomu, naładowana ujemnie. Oto mamy *elektron*. Czy ta cząstka atomu, sprawczyni jego optycznej czynności, w istocie jest materialna? Czy nie możemy przypuścić, że sam ładunek elektryczny atomu drga tylko a masa, którą zdaje się posiadać, jest pozorna? Powrócimy później do tego pytania.

### VIII.

Naszkieciliśmy przed chwilą rozwój pojęcia elektronu raczej w logicznym niż w historycznym porządku. Hypoteza elektronów, w istocie rzeczy, nie wypłynęła z doświadczenia Zee-



mana; przeciwnie, istniała przed niem, przez wielu myślicieli przewidywana, zbudowana przeważnie przez świetnego badacza, profesora leydejskiego H. A. Lorentza. W r. 1892-im stała już przed światem wykończona *atomistyczna* Teorya Zjawisk Elektromagnetycznych; odkrycie Zeemana, raczej zapłodnione przez nią, stało się, dla tej Nauki, tylko popularnym argumentem na zewnątrz. Zresztą zjawisko Zeemana jest, w znacznej większości przypadków, bardzo zawile. Budowa elektryczna atomu jest dotychczas jeszcze nieznaną. Być może, że poznanie jej planu jest jeszcze od nas odległe; wiemy przynajmniej, gdzie, w której stronie zjawisk, ten plan się wyraźnie objawia.

Teorya Lorentza bynajmniej nie jest przeciwna Teoryi Elektromagnetycznej Maxwella; przeciwnie, dopełnia ją i rozwija w szczegółach, w których dzieło wielkiego Szkota okazało się niedokończone. Mawiamy zazwyczaj, że Teorya Elektronów jest korpuskularna lub atomistyczna. Ale atomistyczna jej cecha nie jest nieodbitnie potrzebna we *wszystkich* zagadnieniach; w wielu może, lub musi, być zatarta. Przyjrząwszy się rozumowaniom i rachunkom, których dokonywa się w imieniu hipotezy elektronów, dostrzegamy, że one nie zawsze są

prowadzone atomistycznie. Czy nie można zatem przewidywać chwili, w której hipoteza elektronów przekształci się znowu w *opis* pola elektromagnetycznego, tylko w opis dokładniejszy niż Maxwellowski, w opis, wchodzący w szczególności niejako drugiego rzędu, które pominęliśmy w pierwszym pobieżnym zarysie? W tak przekształconej wówczas Teoryi będziemy uważali elektrony tylko za miejsca szczególnego skoncentrowania pola elektrycznego.

## IX.

Hipoteza elektronów, jak każda myśl szczęśliwa, objaśniła i to, czego nie zamierzano wcale przez nią tłumaczyć. Przypomnijmy sobie przewodnictwo elektryczne materii, które typowo dostrzegamy w metalach. Elektrony biegną w łonie ciał metalicznych mniej więcej podobnie, jak zwykle cząsteczki w gazowym stanie skupienia materii. Pod wpływem sił elektrycznych gromady ich porządkują się; wpadając na cząstki materii, tracą impet, doznają jak gdyby tarcia; mamy wówczas zamianę elektrycznej energii pola na energię cieplną czyli powstawanie t. zw. ciepła Joule'a.

W pewnych okolicznościach, pod działaniem potężnych sił elektrycznych, dzięki swobodzie,

której w nader rozrzedzonych ciałach gazowych doznają, elektrony mogą nabywać prędkości olbrzymich, porównywalnych z prędkością, z którą rozchodzi się światło. Strumienie elektronów, biegnące z takimi prędkościami w kierunkach dróg prostych, nabierają do pewnego stopnia charakteru promieni. Takimi są zwłaszcza t. zw. *katodowe* promienie, znane już od pół wieku, których włączenie do systematu Nauki długo nastęrczało największe trudności. Promienie katodowe nie są więc promieniowaniem; są to pociski elektryczne, niezmiernie szybko biegnące. Jeżeli taki pocisk dostanie się w obręb pola magnetycznego (i jeżeli nie porusza się równoległe do linii sił tego pola), wówczas odchyła się, podobnie jak kula armatnia, wystrzelona poziomo, odchyła się w polu grawitacyjnym ziemi. To odchylenie się dostrzeżono, zbadano; posłużono się niem, ażeby rozpoznać własności elektronów, swobodnie biegnących.

## X.

Wyobraźmy sobie elektron, poruszający się w polu elektromagnetycznym. Doznaje on, od pola, działania pewnej siły; ale zarazem wpływa na stan pola i zmienia ten stan a przez to

znów oddziaływa na samego siebie. Badanie wskazuje, że to działanie wsteczne jest równoważne wytwarzaniu bezwładności w poruszającym się elektronie. Masa, wytworzona przez tę indukcyę własną (analogiczną do dobrze znanej indukcyi własnej prądów zwyczajnych, przewodzonych) dodaje się do masy elektronu zwyczajnej czyli dynamicznej, jeżeli on nią jest obdarzony; jeśli zaś elektron nie ma masy dynamicznej, okazuje wówczas samą tylko masę elektromagnetyczną czyli samą tylko masę pozorną.

Ta autoindukcyja masy pozornej jest następstwem hipotezy, w wysokim stopniu godnem uwagi. Otwiera ono odrazu daleki widnokrąg. Czy elektrony mają masę zwyczajną? czy *cała* ich masa nie jest elektromagnetyczna? Może wszelka wogóle masa jest pozorna. Może materia jest zbudowana z elektronów; może zwyczajna Dynamika jest tylko szczupłym i bardzo szczególnym przypadkiem Elektromagnetycznej Dynamiki elektronów. Dynamika ta jednak jest znacznie trudniejsza niż zwykła. W Dynamice zwykłej masa ciała poruszającego się (czyli stosunek siły do przyspieszenia) jest *stałą* cechą tego ciała; zatem siła i przyspieszenie, w Dynamice zwykłej, są proporcjonalne

do siebie. W Dynamice Elektromagnetycznej masa jest zmienną ilością, zależną od prędkości i tylko w razie małych prędkości (małych w stosunku do prędkości rozchodzenia się światła) okazuje niejaki podobieństwo do masy zwyczajnej. W Dynamice zwyczajnej masa jest *jedna*; naprzykład, jest ta sama, bez względu na kąt, który kierunek siły tworzy z kierunkiem prędkości. W Dynamice elektronu jest inaczej. Elektron może mieć masy rozmaite. Ma masę poprzeczną, ma masę podłużną; one różnią się od siebie tem bardziej, im większa jest prędkość, z którą porusza się elektron. Uczonemu niemieckiemu, p. M. Abrahamowi, udało się ostatnimi czasy znalezienie prawa, według którego elektromagnetyczna masa poprzeczna elektronu zależy od jego prędkości. Doświadczenia p. Kaufmanna, wykonane nad promieniami Becquerela, zdają się potwierdzać wyniki p. Abrahama. Mamy więc powody do przypuszczania, że całkowita masa elektronów jest pozorna, jest z pochodzenia masą tylko elektromagnetyczną.

## XI.

Dostrzegamy przeto pierwsze zarysy Elektromagnetycznej Teorii Materii. Czysty, nieru-

chomy eter powszechny, opanowany przez równania Maxwella; w nim tu i ówdzie miejsca szczególne, miejsca, w których stan eteru dochodzi jakby do niezwykłego stopnia napięcia: elektrony; z tych elektronów zbudowane grupy i kompleksy zawile, atomy, kombinacje atomów z elektronami, może iony, cząsteczki, cząstki, ciała; czy taki jest obraz świata, który ofiarowujemy nam Fizyka? Możemy być pewni, że będzie potrzeba pracy całego pokolenia, ażeby ten obraz wykończyć, poprawić, rozciągnąć; możemy i tego być pewni, że również i on zużyje się i ustąpi miejsca nowym widokom. Elektromagnetyczne pojęcia są dziś dla nas jasne; dla wprawnego umysłu są, jak widzieliśmy, prostsze i bardziej dogodne niż pojęcie materii. Przyjdzie czas, w którym inne, może jeszcze nieznanne pojęcia będą elementami myślenia.

Czy w tych obrazach leży istota badania naukowego? Nie sądzimy. W kinetycznych czy elektromagnetycznych, w molekularnych, atomistycznych czy elektronowych naszych teoriach uważamy zjawiska, dane nam zmysłowo, jak ciśnienie płynu np., tarcie wewnętrzne, dyfuzya, przewodnictwo elektryczne, promienie Becquerela lub Röntgena, zjawisko Zeemana i wszyst-

kie wogóle zjawiska w materialnym wszechświecie, za *tłumy zjawisk elementarnych*; uznajemy je za *gromady procesów fundamentalnych prostszych*. I tylko dlatego tak postępujemy, że te procesy elementarne *możemy* wyobrażać sobie prostymi, że *możemy* im przypisać prawa prostsze, niż prawa zjawisk, które dostrzegamy bezpośrednio; że tym sposobem stajemy się zdolni prawa zjawisk istotnych przeniknąć, poznać to, co w nieznannej przeszłości się stało lub co przyszłość w sobie ukrywa, zbadać to, co ogromem swym lub małością przechodzi możliwość naszego bezpośredniego poznania; że stajemy się zdolni opanować świat i zapanować myślą nad światem, zapanować o tyle, o ile to jest dane umysłowi człowieka.

---

## ODCZYT CZWARTY.

### Szkice z zakresu Fizyki Elektronowej.

#### I.

Mawiamy pospolicie, że powietrze jest izolatorem elektrycznym. Już w r. 1785-ym domyślał się Coulomb, o czym dziś upewnieni jesteśmy: że twierdzenie powyższe jest tylko przybliżenie prawdziwe. Powietrze i inne gazy, czyste, suche, pozbawione pyłu i kurzu, przewodzą elektryczność, jakkolwiek w stopniu nader nieznacznym. To przewodnictwo nazwijmy *normalnem*. Kierując się teoretycznymi względami, o których niżej wspomnimy, przypuścilibyśmy chętnie, że normalne przewodnictwo gazu jest cechą istotną, nieodłączną od innych cech materialnych, niezależną od wpływów zewnętrznych i działań, którym gaz może być poddany. Ciągłość logiczna domaga się podobnego przypuszczenia; lecz nie wiemy dotychczas, czy sprzyjają mu wyniki dostrzeżeń.

Rozmaitymi sposobami można nadać każdemu (o ile wiadomo) gazowi przewodnictwo, nieporównanie znaczniejsze od wspomnianego przed chwilą normalnego elektrycznego przewodnictwa. Skoro to jest dokonane, mówimy, że gaz jest zionizowany; stan nienormalnie wysokiego przewodnictwa nazywamy *ionizacją*. Gazy ionizują się naprzykład pod wpływem promieni Röntgena; ionizują się również, gdy są poddane działaniu t. zw. ciał promieniotwórczych: uranu, toru, polonu, radu, aktywnu. Promienie katodowe i inne pokrewne promienie energicznie ionizują gazy, w których biegnąc, same szybko nikną i giną. Gazy, które znajdują się w zetknięciu z rozżarzonymi drutami lub blaszkami metalowymi, okazują się zionizowane. Z płomienia lub z łuku elektrycznego (lub może z ich sąsiedztwa) można wydobywać gazy, które okazują się zionizowane. Lista sposobów ionizowania jest długa; nie będziemy jej wyczerpywali.

Gdy czynnik ionizujący przestaje działać, gaz zachowuje wzmożone przewodnictwo, jednakże nie stale, lecz w stopniu coraz słabszym i słabszym; zależnie od okoliczności, przewodnictwo z biegiem czasu zmniejsza się, powolniej lub prędzej, aż w końcu znika zupełnie.

Jeśli gaz zionizowany poddamy, nie zwlekając, działaniu pola elektrycznego, możemy z niego wydobyć, jak z elektrolitu, pewne ilości elektryczności dodatniej i ujemnej, ilości (w danych warunkach) oznaczone i skończone, poza które posunąć się dalej nie możemy, chociażbyśmy uciekli się do pól najsilniejszych. Zestawienie tych elementarnych dostrzeżeń wskazuje drogę, którą iść trzeba do teorii ionizacji, którą Nauka poszła za przewodem znakomitego fizyka z Cambridge, prof. J. J. Thomsona. Skoro ładunki elektryczne biegną ku elektrodom, pod kierującym wpływem pola, przeto one muszą *istnieć* w każdym gazie zionizowanym; skoro ładunki różnoimienne, natychmiast po zionizowaniu gazu, nie zobojętniają się, nie niszczą się wzajemnie, przeto muszą być przestrzennie rozdzielone, muszą być rozproszone w gazie, jako małe elektryczne jednostki; skoro nareszcie odszukują się pomiędzy sobą, skoro się z biegiem czasu spotykają i łączą, zatem muszą w przestrzeni poruszać się indywidualnie. Jednym słowem, ładunki elektryczne, w zionizowanym gazie, zachowują się tak, jak cząsteczki zwykłe, materyalne, w stanie gazowym materyi. Elektryczność, w gazie zionizowanym, okazuje budowę atomistyczną.

## II.

Rozważanie zjawisk ionizacji w gazach postawiło nas przed jedną z najśmielszych konkluzyj współczesnego badania Natury: elektryczność w ogóle ma budowę atomistyczną. Pojęcie *elektronu*, atomu elektryczności, wskazuje dziś drogę, po której, przez szereg lat, będzie poruszała się Nauka. Nasuwało się ono zresztą oddawna. Zasada Elektrochemii, prawo Faraday'a, ustanowiła oddawna związek ilościowy między masą materialną a elektrycznością lub, mówiąc obrazowo, między atomem materii a elektronem. Ażeby to dostrzedz, wyobraźmy sobie, że elektrolizujemy roztwory związków, zawierających np. chlor, brom, potas, sód. Podczas elektrolizy, pewne masy tych pierwiastków są doprowadzane do elektrod i osiadają na nich. Przypuśćmy, że mierzymy te masy, a także ilości elektryczności, które one ze sobą przynoszą. Przekonalibyśmy się wówczas, że przyniesione ilości elektryczności są równe (w rozmaitych roztworach) wtedy, kiedy równe są liczby atomów materii, atomów chloru, bromu, potasu, sodu, które przywędrowały do elektrody. Zatem atomy wspomnianych pierwiastków mają na sobie na-

boje elektryczne równe. Taka jest prawda, dostrzeżona przez Faraday'a, z której Helmholtz, przed laty przeszło dwudziestu, wyprowadził wnioski, że atom elektryczności ma w Nauce także prawo istnienia, jakie ma atom materii. Ion Faraday'a, wędrująca w elektrolizie grupa elementarna, jest jakby związkiem atomu materii bądź z jednym elektronem, bądź z pewną (zawsze całkowitą) liczbą elektronów.

## III.

Skierujmy teraz w inną stronę bieg naszego przelotnego przeglądu. Od kilkudziesięciu lat, dzięki badaniom Plücker'a, Hittorffa, Goldsteina, Crookes'a i innych uczonych, znamy szczególne zjawiska, które obserwujemy, gdy elektryczność przepływa przez gazy znacznie rozrzedzone. Dostrzegamy wówczas jak gdyby wpływ, emisję, która wybiega z katody, rozchodzi się w kierunkach dróg prostych, jest pochłaniana energicznie przez gazy i ciecze, tembardziej zaś przez metale; zatem, ze względu na swe, dalekie co prawda, podobieństwo do prawdziwego promieniowania, otrzymała nazwę »katodowych promieni«. Lecz znamy dzisiaj własności owej emisji, które ją odróżniają od promieniowania, które ją niemal przeciwsta-

wiają promieniowaniu. Wiemy, że ona niesie ze sobą ładunek elektryczny ujemny; ładunek ten możemy wykazać dzięki elektrostatycznym działaniom, którym emisja ulega; możemy go zebrać i zmierzyć. Wiemy, że emisja odchyła się, w polu magnetycznym, od pierwotnego (prostego) kierunku, w którym wybiega z katody; że nawzajem, sama przez się, wytwarza pole magnetyczne w całym sąsiedztwie. Znamiona te wystarczają; wnosimy z nich, że promieniami katodowymi są w rzeczy samej strumienie cząstek, naładowanych ujemnie, biegnące uporządkowaną gromadą, pod wpływem potężnych pól elektrycznych, dzięki stosunkowej swobodzie, której bieg ich doznaje w gazie znacznie rozrzedzonym. Jakie są te cząstki? Prof. J. J. Thomson pokazał, jak można zmierzyć ich masę, ich prędkość. Okazało się, że te własności nie są zależne od natury gazu, w którym badamy katodowe promienie. Stąd wynika widocznie, że cząstki, stanowiące istotę katodowych promieni, nie są zwykłymi, chemicznymi atomami materii. Mamy niejakię podstawy do przypuszczania, że one są swobodnymi elektronami, atomami elektryczności, odłączonymi od zwykłych towarzyszy, od atomów materii. Wiemy w każdym razie pewnie, że one

mają masy przeszło tysiąc razy mniejsze niż masa atomu wodoru i że poruszają się z prędkościami mniejszemi, lecz niezbyt dalekimi, od prędkości rozchodzenia się światła w próżni. Ten wynik, który zawdzięczamy przeważnie pracy J. J. Thomsona, pozostanie zapewne pierwszorzędnym momentem w historii naszego pojmowania materii. Złożoność pierwiastków stała się naukowo prawdopodobna, od chwili, gdy możemy udowodnić, że istnieją masy mniejsze niż masa atomu wodoru.

#### IV.

Zestawienie praw, rządzących zjawiskami elektrolizy, ionizacyi w gazach i promieni katodowych, jest pouczające. W zwykłej elektrolizie jony poruszają się, nagłone przez siły elektryczne, lecz jednocześnie hamowane przez działania podobne do tarcia i tak dalece przemożne, że *impet* ionów jest zawsze prawie zupełnie zniesiony. Dlatego nie przyspieszenia (jak w ruchu swobodnie spadającego kamienia), ale *prędkości* ionów stosują się do czynnych *sił*. Za prędkościami idą przepływy; i one w przypadkach zwykłej elektrolizy stosują się do natężenia *sił* lub (jak byłoby poprawniej powiedzieć) do bodźca. W zwykłej elektrolizie obo-

wiązują zatem prawa klasyczne: prawo Ohma, prawo Joule'a. Są to przypadki szczególne praw Fourier'owskich, praw idealnych, spełnionych wszędzie, gdzie koercya tłumi inercyę i nadaje charakter zjawisku.

W przypadku ionizacji gazowej koercya jest czynna w rozmaity sposób. Iony gazowe nie są swobodnymi elektronami. W środowisku tłumem, jakim jest gaz o gęstości np. atmosferycznego powietrza, elektron swobodny, jeśli pojawi się, zostaje niebawem obstąpiony, niejako obłożony, przez materyalne, gazowe cząsteczki; tworzą się gromadki duże, mało ruchliwe, z elektronem w środku, które błądzą w przestrzeni, popychane nieustannie w zbiegowisku cząsteczek; liczba ich zresztą jest zawsze bardzo mała w stosunku do liczby normalnych cząsteczek. Od czasu do czasu dwie takie grupy spotykają się, kruszą; środki ich, elektrony, jeśli różnoimienne, zobojętniają się wzajemnie, satelity zaś powracają do roli obojętnych cząsteczek gazowych. Tak dzieje się, dopóki czynne pole elektryczne jest słabe lub żadne; prawo Ohma jest wówczas tylko normą graniczną. Gdy pole jest znaczne, rola koercyi jest coraz bardziej podrzędna, prawo Ohma przestaje być przybliżeniem do prawdy.

W promieniach katodowych nie dostrzegamy już wcale walki inercyi z koercyą, której świadkami jesteśmy w ionizacji gazowej. Prędkości ruchu są tu niezmierne, tysiące razy większe niż prędkość ruchu ziemi w jej biegu rocznym dokoła słońca. Co więcej: prędkości te są *uporządkowane*. Niema tu molekularnego bezładu, niema tłumnej chaotyczności, charakterystycznej w materyi; niema zatem koercyi. O charakterze zjawisk rozstrzyga inercya i to tak dalece, że najprostsza postać zasady energii, tak zwane prawo sił żywych starodawnej Dynamiki, stosuje się w znacznym przybliżeniu.

#### V.

Inny przykład działalności elektronów swobodnych, działalności (powiedzmy odrazu) opanowanej zupełnie przez doskonałą koercyę, mamy w przewodnictwie elektrycznym i ciepłym każdego metalu. Jest rzeczą prawdopodobną, że metale (i inne ciała, przewodzące podobnie jak one) zawierają w sobie rzesze elektronów swobodnych, ujemnych, biegnących bez innej przeszkody jak ta, która im ze spotkań z cząstkami metalu wyrasta. Skąd tam te elektrony? Nie wiemy; możemy się domniemywać, że powstają przez auto-ionizacyę metalu,



auto-ionizację, która (jak widzieliśmy) i w stanie gazowym jest, jeśli nie prawdopodobna, tedy przynajmniej możliwa. Możemy w każdym razie powiedzieć: gdyby elektrony istniały w łonie metalu, mogłyby spełniać czynności, które im przypisujemy w tak zwanej Elektronowej Teorii Metali. Mogłyby naprzykład roznosić energię ciepłą, gdy jest rozlana w metalu nierównomiernie. Pod wpływem obcego pola elektrycznego elektrony wciąż poczynałyby porządkować się i płynąć, więc przenosiłyby ładunki z miejsca do miejsca t. j. przewodziłyby prąd; nabierałyby przytem nawet chwilowego impetu, który odstępowałyby zaraz cząstkom grubej materii; tym sposobem zamieniałyby na ciepło, t. zw. ciepło Joule'a, energię sił elektrycznych. Przewodnictwo cieplne metalu byłoby wówczas w bezpośrednim związku z jego przewodnictwem elektrycznym; im większe jedno, tem większe musiałoby być drugie; tak jest rzeczywiście, jak oddawna wiadomo; ściśle wygłoszenie tej prawidłowości nazywa się w Fizyce prawem Wiedemanna i Franza. Bezmiernie zawile (w indywidualnych epizodach) wędrówki i działania elektronów wśród cząstek metalu prowadziłyby zatem do prostych przeciętnych, statystycznych wyników. Pole magnetyczne wykręcałoby bieg

elektronów; pod wpływem pola magnetycznego prąd w metalu zdradzałby zaburzenie, które dostrzegamy istotnie i nazywamy »zjawiskiem Hall'a«. Elektrony mogłyby i musiałyby wybiegać od czasu do czasu przez zewnętrzną powierzchnię metalu. Ale znaczne siły elektryczne sprzeciwiałyby się każdej podobnej dezercyi. Zatem, w temperaturach umiarkowanych, przypadki ucieczki byłyby rzadkie; dopiero w wysokich, gdy bieg elektronów jest gwałtowny, wydarzałyby się tłumne przypadki wybiegania z metalu, które zdradzałyby się ionizacją gazu, znajdującego się w zetknięciu z rozżarzoną metalą; wiemy, że i to oczekiwanie zgadza się z dostrzeganymi zjawiskami. W cienkiej metalowej warstewce, takiej np., jaką można osadzić *in vacuo* dzięki rozpylaniu się katody w rurce Crookes'owskiej, elektronom byłoby ciasno, mniej wygodnie, niż w znacznej masie metalu; zdaje się rzeczywiście, według doświadczeń, wykonanych w Cambridge w r. 1902-im przez p. J. Pattersona, iż przewodnictwo w tak cienkich warstwach różni się od normalnego przewodnictwa metalu.

Żeby sprawiać te i tym podobne objawy i skutki, elektrony muszą być swobodne; przynajmniej bardzo znaczna liczba elektronów

musi być swobodna. Atomy metalu, naprzykład zwykłego srebra, ołowiu lub miedzi, w stanie wolnym, nie wchodząc w skład złożonych cząsteczek i aglomeratów, nie są zajęte prawdopodobnie żadną (jeśli tak wolno powiedzieć) chemiczną czynnością; być może, że właśnie dlatego elektrony ich cieszą się znaczną swobodą. Naprzykład srebro metaliczne przewodzi doskonale ciepło i elektryczność; ale sole srebra, np. azotan srebrowy, w stanie stałym (nie w roztworze) przewodzą słabo. W cząsteczkach azotanu atomy srebra są zajęte aktem chemicznego połączenia; elektrony jednocześnie są również zajęte, przynajmniej w przeważnej liczbie są »związane«. Zestawienie tych faktów jest pouczające, albowiem wskazuje rolę elektronów w tworzeniu się cząsteczek, zatem w istnieniu związków chemicznych. Zjawiska chemicznej wartościowości leżą o jeden krok od terenów, po których porusza się dzisiaj Fizyka Elektronów. Potwierdza to w zupełności badanie optycznego zachowania się ciał, tak zwana mianowicie Teorya Dyspersyi.

## VI.

Henryk Becquerel w lutym r. 1896-go odkrył fakt fundamentalny: promieniotwórczość

materyi. Dziś, dzięki pracom państwa Curie, Rutherforda i wielu innych badaczy, stoimy przed nowym rozdziałem rzeczywistości. Wielkie uogólnienia Nauki pozostają tu w swej mocy; ale ich zakres, ich rozciągłość, rośnie nieobliczalnie.

Zjawiska promieniotwórczości są, o ile wiadomo dotychczas, różnorodne i nadzwyczaj zawiłe. Ażeby o nich myśleć, ażeby o nich mówić, jesteśmy zmuszeni (jak w innych dziedzinach Nauki) zbierać i układać nagromadzone zasoby dostrzeżeń i ujmować je w uogólnienia. Zatem i tutaj, w spiesznym naszym przeglądzie Fizyki Elektronowej, krótko tylko powiemy: uran, tor, rad i niektóre podobne ciała, t. zw. promieniotwórcze, ulegają samowolnie, nieustannie, nieodmiennie, pewnemu procesowi przekształcenia czy przeistoczenia, procesowi, niepodobnemu do przemian chemicznych, sięgającemu (o ile się zdaje) nierównie dalej, niż zjawiska chemiczne, w głąb, w treść i w istotę materyi. Tej przemianie nie ulega całkowita masa obecna danego ciała promieniotwórczego; w każdym okresie czasu, np. w sekundzie, przeobraża się tylko pewna stała i niezmienna, prztem zwykle nadzwyczaj drobna część masy obecnej, jak gdyby ta, która dojrzała do zmiany;

reszta zachowuje stan dawny, czekając kolei. Zatem mamy przed sobą zazwyczaj mieszaninę, złożoną z substancji pierwotnej oraz z produktów, które się z niej wytworzyły.

Prawo przemiany już wygłosiliśmy: masa, doznająca zmiany w przeciągu np. sekundy, zachowuje stosunek stały do masy jeszcze nie przetworzonej, która w danej chwili istnieje. To samo prawo obowiązuje reakcje chemiczne t. zw. mono-molekularne. Widoczną jest rzeczą, że zmiana, do której to prawo stosuje się, dokonywa się w cząstce substancji z powodów wewnętrznych, nie zaś pod wpływem starcia, spotkania, czy wogóle spóldziałania znacznie-szej liczby cząstek substancji.

Przebieg przemian promieniotwórczych jest niezmienny, dziwnie niezawisły od zjawisk w otoczeniu. Rozporządzamy wielu sposobami oddziaływania na materię; żadnym z pomiędzy nich nie potrafimy dotychczas okiełznać przemian promieniotwórczych, nie potrafimy ich wstrzymać i znieść ani dokonanych odwrócić; nie umiemy też sprawić, ażeby ich bieg stał się szybszy. W radzie, według Rutherforda, mniej więcej jedna dwutysięczna część masy, istniejącej w pewnej danej chwili, musi uleść przeistoczeniu w przeciągu roku, licząc od tej

chwili; np. w gramie, około  $\frac{1}{2}$  miligrama. Dana masa radu, pozostawiona sama sobie, przeistoczy się do połowy w przeciągu około 1300 lat; po upływie 26000 lat pozostanie niezmienną tylko jedna milionowa część masy pierwotnej. W torze, w uranie, przebieg zjawiska jest nieporównanie bardziej powolny.

Tej ewolucji ciał promieniotwórczych towarzyszy zazwyczaj inne, jak najbliższe z nią związane zjawisko. Ciała promieniotwórcze, jak nazwa wskazuje, wysyłają promienie, coś, co działa na płytę fotograficzną, ionizuje gazy, oraz, przynajmniej po części, bywa naładowane, ulega działaniu pola magnetycznego. Z pomiędzy tych promieni największą rolę w życiu promieniotwórczej substancji zdają się grać  $\alpha$ -promienie, pochłaniane łatwo przez zwykłą materię, odchylające się, jakkolwiek słabo, w polu magnetycznym; wiemy, że one są strumieniami cząstek stosunkowo znacznych (o masie, w przypadku  $\alpha$ -cząstek wyrzucanych przez rad, około dwóch razy większej niż masa atomu wodoru), niosących na sobie naboje dodatnie i obdarzonych prędkościami, które dochodzą do  $\frac{1}{10}$  prędkości rozchodzenia się światła w próżni. Atom promieniotwórczy, w określonym stadium swych dziejów, wyrzuca ze swego układu taką

$\alpha$ -cząstkę; mniej więcej podobne wstrząśnienie powtarza się prawdopodobnie pewną liczbę razy w życiu atomu, poczem zdaje się nadchodzić nowy okres, okres wybuchów przeważnie słabszych i subtelniejszych pocisków. Do nich należą t. zw.  $\beta$ -promienie, promienie przenikliwe, w polu magnetycznym odchylające się znacznie. Wiemy dzisiaj, że składają się one z elektronów swobodnych, ujemnych, krótko mówiąc z tych samych elektronów, z których składają się katodowe promienie, tylko poruszających się p r e d z e j. Elektrony, lub  $\beta$ -cząstki, wyrzucane przez rad, biegną z prędkością, która może dojść do 96% prędkości rozchodzenia się światła. Tego szalonego biegu nie wytrzymują zwyczajne prawa Dynamiki;  $\beta$ -cząstki, wyrzucane przez rad, zniweczyły uprzedzenie, według którego *Leges Motus* Newtona miałyby być czemś innym niż indukcyjnym wnioskiem z ograniczonego zasobu dostrzeżeń, czemś aksjomatycznym, bezwzględnym. Wiemy dzisiaj, że i te prawa (i wszystkie prawa nasze zapewne) są tylko, w pewnych warunkach, przybliżeniem do prawdy.

Jednakże przebieg ewolucji promieniotwórczego atomu bywa nieraz bardziej zawiły. W niektórych razach  $\alpha$ -cząstki oraz  $\beta$ -cząstki

są wyrzucane jednocześnie; niekiedy po okresie  $\beta$ -wybuchów następuje stadium, podobne do okresu  $\alpha$ -pocisków. Zresztą, oprócz  $\alpha$ -cząstek, oprócz  $\beta$ -cząstek, atomy promieniotwórcze wydają ze siebie jeszcze grubsze, bardziej materialne cząsteczki, którym już nie mogą nadać niejako pozoru promieni; ale wysyłają również nadzwyczajnie subtelne wytwory (tak zwane promienie  $\gamma$ ) które oddalają się od cząstek  $\alpha$  i  $\beta$  pod wielu względami. Niektórzy uczeni uważają je, podobnie jak promienie Röntgena, za nieokresowe zaburzenia w eterze; inni tłumacząc ich własności prędkością, niemal ściśle równą prędkości rozchodzenia się światła. Trudno oprzeć się przypuszczeniu, że lista owych półsubstancji, pół-zjawisk, których źródłem może być atom promieniotwórczy, nie jest jeszcze zamknięta, ani po stronie grubszej, materialnej, ani po przeciwnym, eterycznym czy energetycznym końcu. Elektron stanowi zapewne kres materii, poza którym gubią się cechy substancji. Wiemy z teorii promieniowania, że elektron jest jedyną może spójnią pomiędzy atomem materii a otaczającym go eterycznym ośrodkiem. Musimy zatrzymać się tutaj; widoczną jest rzeczą, że dzisiejsze nasze pojęcia materii, eteru, energii, elektryczności, nie są

ostateczne. Może wolno je przyrównać do widoków tego samego przedmiotu, różnych, lecz tylko z powodu, że, dostrzegając je, obserwator zmieniał stanowisko.

## VII.

W Kinetycznej Teorii Gazów jesteśmy oswojeni oddawna, od czasów Maxwella, z pojęciem stanu, w którym rozmaite cząstki tej samej masy gazowej, same przez się dokładnie jednakowe, posiadają niektóre, niejako zewnętrzne własności (np. prędkość ruchu, energię) w stopniu bardzo niejednakowym. Ażeby wytłómaczyć pewne właściwości zjawisk ionizacji gazowej, musimy uczynić podobne Maxwellowskie założenia o stanie wewnętrznym atomów w zwykłym gazie, np. w powietrzu. Taka hipoteza jest potrzebna, skoro najbardziej energiczne czynniki, np. promienie Röntgena, mogą ionizować zawsze tylko drobną część z pomiędzy liczby atomów, obecnych w pewnej masie gazowej. Atomowe nierówności, odskoki od średniego poziomu, muszą być nawet znacznie poważniejsze niż te, które rozpoznajemy w sferze grubszej, molekularnej, według zasad Teorii Gazów.

Na pierwszy rzut oka, warunki istnienia ato-

mów promieniotwórczych różnią się zupełnie od powyższych norm bytu powszedniej materii. Widzimy wśród nich także nierówności, krańcowe i niebywałe odskoki: w danej chwili, jedne atomy są trwałe, tak dalece, że mają być zapewniony na setki lat; inne dochodzą już do kresu istnienia. Ale te nierówności wydają się być przywiązane do indywidualów. Inaczej jest w świecie cząsteczek gazowych. Każda cząsteczka zmienia nieustannie swe własności, np. swą prędkość. Każdą prędkością, czy bardzo małą, czy średnią, czy wyjątkowo wysoką, cząsteczka cieszy się tylko przez czas bardzo krótki. Niesprawiedliwości molekularne, jeśli wolno tak się wyrazić, są w każdej chwili duże i ostre; ale dla każdej z osobna molekule są migawkowo krótkotrwałe i przemijające. Tej wymienności stanów nie dostrzegliśmy wśród atomów promieniotwórczych; zdają się one prowadzić odosobnione żywoty.

Przypomnijmy sobie jednakże, że obraz tłumy, który Maxwell rozwinął przed nami w Teorii Kinetycznej, nie odpowiada nigdy ściśle rzeczywistości. Gaz zawsze tylko zdąża do stanu Maxwella. Jeżeli stan chwilowy gazu różni się znacznie od ideału Maxwellowskiego, gaz dąży do osiągnięcia go z prędkością ogromną; im

bliżej do celu, tem powolniej, tem bardziej opieszale zmierza ku niemu. Wyobraźmy sobie np. zwykle atmosferyczne powietrze; przypuśćmy, że zawichrzyliśmy tłum cząsteczek, wytrąciliśmy go przemocą ze stanu Maxwella i, w pewnej chwili, pozostawiamy go nagle własnemu losowi. Po upływie, powiedzmy,  $10^{-9}$  sekundy pozostanie z owego zaburzenia zaledwie ślad niedostrzegalny; tak szybko i sprawnie pracuje koercya w gazie o zwyczajnej gęstości. W lepkiej cieczy koercya pracuje znacznie leniwiej. Co wymaga  $10^{-9}$  sekundy w atmosferycznym powietrzu, zajęłoby godziny lub doby w oleju, w smole, w mazi lub półstałej żywicy.

Wyobraźmy sobie teraz świat korpuskularny, w którym olbrzymie nierówności, bezmierne różnice indywidualne nie tylko panują, lecz i wyrównują się krańcowo powoli. Taki musi być świat atomów wogóle i może świat promieniotwórczych atomów. Jeżeli istnieje i działa w nim jakibądź wyrównawczy mechanizm, funkcjonowanie jego musi być ponad wszelką miarę przewlekłe.

## VIII.

Fizycy wykryli słabe promieniotwórcze działania w powietrzu, na powierzchni ziemi, w jej wnętrzu, niemal wszędzie, gdzie ich poszukiwali. Czy możemy przypuścić, że wszelka wogóle materya jest promieniotwórcza? Wiele za tem przemawia, że to przypuszczenie, dziś prawdopodobne, będzie niebawem niewątpliwie stwierdzone. Wprawdzie drobne, znikające przy mieszkach substancyj właściwie, wybitnie radioaktywnych (radu i t. d.) wystarczyłyby w zupełności do sprawiania dostrzeganych zjawisk; lecz badanie zachowywania się niektórych ciał, zwłaszcza metali, prowadzi (ze znacznym prawdopodobieństwem) do wniosku, że promieniotwórczość jest powszechną, choć bardzo nierównomiernie wybitną (jak zresztą i inne, na przykład magnetyzm) własnością materyi. Ten wniosek, jeśli się potwierdzi, zgadzałby się z hipotezą, o której już wspominaliśmy na wstępie, z hipotezą powszechnej auto-ionizacji materyi.

Ale Fizyka Elektronowa jest nauką o ilościach znikomych, o działaniach najtrudniej uchwytanych. Nie powinniśmy dziwić się temu, że nie umiemy dziś odpowiedzieć na wiele jej

ważnych zapytań. Następcy spóczesnych badaczy rozwiążą zadania, które są dla nas za trudne. Ale możność rozwiązania tych zadań będzie dla nich źródłem nowych bez końca zagadnień. Jak dla Bacona, jak dla nas, i dla nich zapewne będzie *Aedificium huius Universi instar Labyrinthi*.

## ODCZYT PIĄTY.

Świat, widziany od strony elektrycznej <sup>1)</sup>.

### I.

Przypomnijmy sobie lata nauki szkolnej, Szanowni Panowie. Przypomnijmy sobie, w jakim nieładzie, w jakim przypadkowym nagromadzeniu, w jakiej postaci chaosu rozwój historyczny przekazał nam (i szkole ówczesnej, niestety) rozległy obszar badania ludzkiego, zwany Nauką o Elektryczności i o Magnetyzmie. Uczyliśmy się po kolei: o maszynie Ramsdena i o butelkach lejdejskich, o latawcu Franklina i o żabie Galvani'ego, o licznej rodzinie ogniów »mokrych« i o jednym »stosie suchym«. Podziwialiśmy żarzenie się platynowego drucika, rozkładem wody zakwaszonej byliśmy zacieka-

<sup>1)</sup> Wykład, wygłoszony na pierwszym posiedzeniu ogólnym X. Zjazdu Lekarzy i Przyrodników Polskich we Lwowie, w dniu 22-im Lipca 1907 roku.

wieni; ale pragnęliśmy, może niejasno, cokolwiekbądź z tego wszystkiego *zrozumieć*. Oczekiwaliliśmy, zapewne nawpół świadomie, hasła, formuły magicznej, która dopomogłaby nam *myśleć* o dziwnym świecie zjawisk, w którym błędziliśmy po omacku. To hasło nie nadchodziło; z kolei następowała — galwanoplastyka. Dowiadywaliliśmy się, że można elektrycznie srebrzyć i złocić. Dowiadywaliliśmy się wogóle mnóstwa wiadomości. Poznawaliśmy magnesy w kształcie podków i inne, w kształcie igieł; uczyliśmy się o galwanometrach oraz o nieuchronnym mostku Wheatstone'a. Sypały się na nas zjawiska, przyrządy, odkrycia i wynalazki, coraz mniej rozumiałe. Solenoidy i dzwonek elektryczny, indukcya i młoteczek Neefa, telefon i lampa łukowa, mikrofon i »jaje elektryczne« padały w nas, sypkie i niepowiązane jak piasek, suche i lotne jak piasek, martwe, nieurodzajne i przygnębiające, jak pustynia Sahary. Umysłowi dziecka potrzeba przyczynowości, Czcigodni Panowie; tak samo, jak nam jej potrzeba. Nie ufam, co do mnie, książkom i ludziom, głoszącym, że prawidłowość Natury nie może być *przedmiotem* elementarnego nauczania. Ona winna być *osią* wszelkiego nauczania, albowiem jest *osią* bytu naszego

w łonie Natury. Jej rąbek można odsłonić, bawiąc się Fourierowskimi całkami; można też, bawiąc się piłką lub bakiem.

## II.

Cofnijmy się myślą o lat mniej więcej pięćdziesiąt. Na wielkiej arenie myśli wszechludzkiej, dostrzeżemy zastój i niepowodzenie w Nauce o Elektryczności i o Magnetyzmie. Pomimo Coulomba, pomimo Ampère'a, pomimo Poissona; pomimo Doktryny Energii, głoszonej przez Helmholtza i Lorda Kelvina; pomimo Faraday'a (którego nie rozumiano); pomimo szkoły niemieckiej: Gaussa, Webera, Riemanna, Clausiusa — nie było Elektromagnetycznej Teorii. Wówczas Maxwell wystąpił na scenę i stworzył Teoryę; a myśli ludzkiej tym czynem dał tak wielki impuls, że fala, która się od niego zaczęła, która po kilkakroć razy rozdarła już dawniejsze granice Nauki, otwierając nowe Rozdziały Rzeczywistości, nie zdaje się dotychczas być wyczerpana. Dziś podmywa fundamenta Dynamiki, *Leges Motus* Newtona (w zasadzie) uniosła; w naszych oczach zaczyna zwracać się ku podstawom Nauki, ku pojęciom ruchu, przestrzeni i czasu, obiecując, że je przeobrazi.



## III.

Spróbujmy pójść za Maxwellem przez rozległą elektromagnetyczną dziedzinę, choćby w najogólniejszych zarysach. Poznajemy już w Elektrostatyce niektóre główne narzędzia Maxwellowskiej Teorii. Poznajemy w niej fakt zasadniczy istnienia pola elektrycznego i miarę jego natężenia w każdym miejscu, wektor elektryczny. Uczymy się wyrażać mechaniczne własności pola przy pomocy tego wektora; elektryczne — przy pomocy innych wektorów, od których »ilości« elektryczności, czyli naboje, czyli ładunki, starodawne *quanta* fluidów elektrycznych, w prosty sposób zależą. — Niejako na skrzyżowaniu się obu widoków pola (mechanicznego i elektrycznego) dostrzegamy t. zw. dielektryczną (lub wprost elektryczną) zdolność ciał, jako stałą, charakterystyczną własność rodzaju materii, w której dane pole istnieje.

Zjawiska prądu, tak zwane elektrokinetyczne zjawiska, opisujemy również przy pomocy pojęć nielicznych i prostych. One polegają na relaksacji czyli *zluźnianiu się* pola elektrycznego i na jednoczesnem wzniecaniu tego pola, dokonywanem przez obce źródła energii. Jeżeli te źródła (naprzykład chemiczne, termiczne i t. p.)

dostarczają w jednostce czasu tyle energii, ile jej zużywa dysypacja zluźniania, tedy prąd jest stacyonarny czyli trwały. W obwodzie ogniwa mamy prąd, który (przynajmniej przybliżenie) może być trwały; w obwodzie, przez który wyładowywa się kondensator, obserwujemy prąd przemijający, albowiem w tym razie energia elektryczna nie jest odnawiana, wyczerpuje się zaś, zamieniając się w ciepło. Zatem, oprócz znanego już z Elektrostatyki wektora elektrycznego uniwersalnego, głównem pojęciem, którem operujemy w Elektrokinetyce, jest t. zw. natężenie prądu, miara elektrycznych skutków zjawiska. Własności rozpraszające rodzaju materii, w którym dokonywa się zluźnianie się pola, charakteryzuje znów jedna prosta wielkość stała, np. elektryczny »czas relaksacji«. Tak zwane (elektryczne) przewodnictwo, które stoi na skrzyżowaniu się pojęć prądu i elektrycznego wektora, zależy w prosty sposób od tego czasu zluźniania.

## IV.

Zatrzymajmy się tutaj na chwilę; skorzystajmy ze sposobności, ażeby rozpoznać charakter dzieła, które pozostawił nam Maxwell. Treścią jego Teorii jest ogólne i związane wypowie-

dzenie prawidłowości, dostrzeżonych w dziedzinie Zjawisk Elektromagnetycznych. Podaje nam ona obraz tej dziedziny, utworzony drogą stopniowego, coraz dalszego uogólniania. Zatem ten obraz jest nadzwyczajnie abstrakcyjny; przeciwnie, w ostatniej instancji, został podyktowany przez czyste doświadczenie. Możemy nazwać go fenomenologicznym, jeżeli dbamy o nazwy podobne.

Ale Maxwell *nie* był człowiekiem jednej, choćby wspaniałej, umysłowej konstrukcji. Na to był genialny. Nie był zdolny budować pięknych gmachów, w stylu czystym konsekwencji logicznej. Szanowni Panowie! *Systemata* bywają symetryczne i jasne, obmyślane bywają składowo i ściśle i z nieskazitelnością zamyśleniem porządku; ale *Natura* nie jest symetryczna, nie jest jasna, ani (po naszymu) logiczna. Maxwell patrzył w Naturę; patrzył w nią przenikliwie, bo był myślicielem; patrzył na nią z wysoka, bo był marzycielem. Zostawił nam więcej niż *opis*.

Uważajmy obwód, w którym znajduje się ogniwo; mamy prąd wszędzie: w każdym miejscu ogniwa, w każdym miejscu przewodnika, z którego wyrobiony jest obwód. Weźmy teraz pod rozbiór przypadek kondensatora, który się

rozbraja; wspominaliśmy o nim w poprzedzającym ustępie. Dopóki prąd wogóle trwa, mamy go w każdym miejscu obwodu, łączącego płyty (lub »okładki«), w każdym miejscu płyt; ale w dielektryku, pomiędzy płytami, nie mamy prądu, w zwykłym znaczeniu wyrazu. Maxwell uczy, ażebyśmy rozszerzyli pojęcie prądu elektrycznego. Zwyczajne pojęcie prądu »przewodzonego« (który obserwujemy w przewodniku) radzi dopełnić pojęciem prądu »dielektrycznego«, który wyobraża sobie (i ilościowo określa) w dielektryku. Prąd przewodzony, w każdej chwili i w każdym miejscu, zależy od stanu pola, zatem od chwilowej i miejscowej wartości elektrycznego wektora; prąd dielektryczny zależy od sposobu i od szybkości, z jaką pole z biegiem czasu się zmienia. — Lecz Maxwell nie poprzestaje na utworzeniu pojęcia, które byłoby pożyteczne w celu utrzymania ciągłości logicznej. Maxwell *twierdzi*, że prąd dielektryczny, podobnie jak prąd przewodzony, *wytwarza* w swem sąsiedztwie *pole magnetyczne*. Oto krok nadzwyczajnej śmiałości; a następstwa jego są zdumiewające. Rzutem intuicji domyślił się Maxwell *zjawiska w Naturze*, zasadniczego w funkcyonowaniu jej mechanizmu. Zobaczymy za chwilę, że położył tym sposobem

fundament pod elektromagnetyczną (i pod wszelką, trzeba przypuszczać) Teorię Światła i Promieniowania. Zarazem dostarczył nam brakującego ogniwa w powikłanym łańcuchu prawdziwości elektromagnetycznej.

## V.

Zjawiska elektromagnetycznej indukcji, przez Faraday'a odkryte, zostały przez Faraday'a streszczone w proste prawidło. Możemy je wypowiedzieć tu tylko w sposób ogólnikowy. Gdzie zmienia się z czasem pole magnetyczne, tam, w tem miejscu i dokoła tego miejsca, istnieje wektor elektryczny. Czy to dzieje się w przewodniku, w dielektryku, czy nawet i w próżni, rozkład wektora elektrycznego w przestrzeni jest zawsze złączony ze zmiennością w czasie pola magnetycznego, według praw w istocie tych samych.

Hypoteza Maxwella o polu magnetycznem prądu dielektrycznego jest dopełnieniem prawa indukcji, niejako jego odbiciem w zwierciadle symetrii. Istotnie; mówiliśmy, że prąd dielektryczny zależy od zmienności w czasie pola elektrycznego; zatem, według Maxwella, rozkład wektora magnetycznego w przestrzeni jest zawsze złączony ze zmiennością w czasie

pola elektrycznego. Symetria byłaby zupełna w próżni lub w doskonałym izolatorze; w przewodniku jest zakłócona przez prąd przewodzony, do którego niema analogii w magnetycznych zjawiskach.

## VI.

Dostrzegliśmy teraz fakt fundamentalny w Elektromagnetycznej Teorii; możemy go jak następuje wygłosić. Pole elektryczne niezmienne może istnieć bez magnetycznego; pole magnetyczne niezmienne może istnieć bez elektrycznego. Pola statyczne są niezależne od siebie. Lecz, skoro tylko którebądź jedno poczyna z biegiem czasu się zmieniać, drugie pole, w tem samym miejscu, w tej samej chwili, pojawić się musi. Jedno pole bez drugiego może istnieć, ale nie może zmieniać się bez drugiego. Oto własność fundamentalna pola elektromagnetycznego, która odrazu wyświeśla ustrój tradycyjalnej Nauki o Elektryczności i o Magnetyzmie; która tłumaczy, czemu rozwój historyczny tej Nauki, wiadomy nam z Dziejów, był wogóle możliwy. W szczególności nie potrzebujemy tu wchodzić.

Owo wzajemne splecenie obu pól, gdy są zmienne, objaśnia również treść wewnętrzną

zjawiska, zwanego falą elektromagnetyczną. Pole elektryczne zmienne szerzy dokoła pole magnetyczne; pole magnetyczne zmienne szerzy dokoła pole elektryczne; dlatego i jedno i drugie może rozbiegać się w przestrzeni, z niezmierną prędkością. Jeżeli ośrodek jest izolatorem doskonałym (ale takim naprawdę jest tylko próżnia bezwzględna), w takim razie energia elektromagnetyczna nie wyczerpuje się dysypacją, fala biegnie bez straty, bez końca. Tak zaburzenie, które się poczęło, na przykład, na jakimś słońcu wspinałem, tętni falą rytmiczną, w otchłani próżni przestrzennej, przez lat dziesiątki lub setki, zanim, ułamkiem małym, w układzie gwiazdy dość niepozornej, na ciemnej, drobnej, błotnistej planecie, uderzy o organ wzrokowy istoty myślącej.

Zgoła inaczej dzieje się w przewodzącym ośrodku. W srebrze metalicznym na przykład, już po przebyciu drogi, wynoszącej jedną stutysięczną część centymetra, natężenie fali elektromagnetycznej, zwanej w Optyce żółtą lub sodową, zmniejsza się tak znacznie, że wynosi nieco mniej niż dwutysięczną część pierwotnego natężenia. Mawiamy więc pospolicie, że srebro jest »nie przezroczyste«.

## VII.

Gdy idziemy w Nauce przez nową i niezbadaną dziedzinę, zbłąkaliśmy się bez przewodnictwa Teorii. Każde postawienie naukowego pytania mieści w sobie zarodek pewnej teorii; zbudowana zaś, wykształcona Teoria jest nieprzebranym źródłem zapytań, jest kierownikiem badania i probierzem wyników. Zatem, pierwszą naszą troską, gdy idziemy przez nieznaną krainę, winno być: mieć teorię. Ale drugą troską winno być: teorii, którą mamy, nie zaprzędać się w niewolę.

Powiedzieliśmy przed chwilą, że przewodnictwo elektryczne danego ciała przewodzącego, np. srebra, jest pewnego rodzaju miarą dysypacji, której pole elektryczne w tem ciele podlega. Owóż fala światła żółtego jest falą elektromagnetyczną; przezroczystość srebra dla tego światła jest także pewnego rodzaju miarą dysypacji, której pole tej fali w srebrze podlega. Rozumiemy zatem, że, znając przezroczystość srebra dla falowania żółtego, można wyliczyć przewodnictwo srebra dla prądów, implikowanych w rozchodzeniu się takiego falowania. Rezultat jest następujący: przewodnictwo srebra dla prądów, zawartych w fali światła żół-

tego, ma się do zwyczajnego, Ohmowskiego przewodnictwa srebra, które mierzymy przy pomocy prądu z ogniwa, jak 6 do 10,000.

Możnaby zarzucić, że warunki, w dwóch powyższych przypadkach, są bardzo odmienne. Prąd z ogniwa jest trwały lub powoli zmienny. Prądy, implikowane przez falę żółtą, która rozchodzi się w srebrze, są zmiennie z niesłychaną szybkością. W czasie, tysiąc milionów milionów (czyli  $10^{15}$ ) razy krótszym od sekundy, prąd w tej fali narasta od zera do największej wartości i spada znowu do zera; poczem zmienia kierunek, znowu narasta i znowu powraca do zera. Tak jest rzeczywiście; zjawiska w obu razach są nadzwyczaj odmienne. Ale przewodnictwo, według Maxwella, nie jest cechą zjawiska; przewodnictwo jest cechą materii. A zatem przewodnictwo srebra, według Maxwella, może zależeć od temperatury, od gęstości, od stanu odkształcenia metalu, ale nie może zależeć od częstości, z jaką (z biegiem czasu) zmienia się pole. Wynik naszego rachunku obala więc istotnie jedną z pomiędzy głównych podstaw Teorii Maxwella (A)<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Przypiski patrz w zakończeniu, str. 128, niżej.

## VIII.

Według Nauki Determinizmu, zjawiska, dostrzegane przez nas w określonym układzie, są bezpośrednio rządzone przez tak zwane prawa integralne układu; prawa zaś integralne wynikają, jako następstwo, z dwóch źródeł: po pierwsze, z praw elementarnych uważanego rodzaju zjawisk; powtóre, z ogółu cech i właściwości danego układu, które w uważanym rodzaju zjawisk mogą się objawić, czyli z kolokacyi układu, jak krótko i szczęśliwie wyraził się, przed laty, Dr Chalmers.

Prawa integralne zjawisk, dostępnych bezpośrednio dostrzeganiu naszemu, są prawie bez wyjątku bardzo zawiłe. Naprzykład: ruch księżyców i planet w układzie słonecznym; przewodzenie ciepła w naszym globie ziemskim; drganie dzwonu, który fale głosowe w powietrze rozsyła; chwiejba fal, które piętrzą się i zalewają wzajemnie na morzu; prądy i podmuchy, wiry i wichry w otaczającej nas burzliwej i zmiennej atmosferze — wszystkie te zjawiska są bardzo zawiłe. A jednak mówimy, że prawa elementarne tych zjawisk są proste: że prawo Newtona o powszechnem ciężeniu, prawo Fouriera o płynięciu ciepła, że prawa

Sprężystości, Hydrodynamiki, prawa Aerodynamiki, są proste; tylko kolokacja układów, w których te zjawiska odbywają się, jest zawiła.

Zważmy jednak, że za prawa elementarne poczytujemy różniczkowe prawa zjawisk tylko dopóty, dopóki one są proste. Tak postępując, kierujemy się rodzajem zdrowego instynktu. Prawa elementarne, gdyby i one były zawiłe, nie spełniałyby swego właściwego zadania. Musielibyśmy je podejrzewać, że (w gruncie rzeczy) są jeszcze integralnymi prawami; musieliśmy mniemać, że tkwi w nich jeszcze jakaś kolokacja.

Według (klasycznej postaci) Teorii Maxwella, prawa prądów, dielektrycznych czy przewodzonych, są proste. Według Maxwella są to prawa elementarne. Skoro się pokazało, że te prawa tylko w ograniczonym zakresie są proste, w istocie zaś są niezmiernie zawiłe, one w tej chwili przestały być elementarne. Odtąd były podejrzane o kolokację, chociażby ukrytą. Potrzeba nam było odnaleźć w nich kolokację i rzeczywiście znaleźliśmy ją, pod przywództwem genialnego holenderskiego badacza, Henryka Antoniego Lorentza, z Leydy.

Obmyślenie nowych praw elementarnych

w elektromagnetycznej olbrzymiej krainie, oraz nowej ukrytej a stosownej dla niej kolokacji, nazwano w Nauce Teorią Elektronów. Przeglądając się pochodowi badania, może nieco od zewnątrz, dostrzeżono wzrost i zwycięstwo Elektronowej Teorii na tle odkrycia Zeemana, na tle poznania zjawisk ionizacji w ciałach gazowych, lepszego pojmowania fenomenu elektrolizy i promieni katodowych, nareszcie na tle wiekopomnego odkrycia, promieniotwórczości. Mówiąc o Elektronowej Teorii, przywykliśmy powoływać się na te, pełne momentu dowody. Ale opisywano je tyle razy, opowiadano tak zajmująco, objaśniano tak zręcznie, że zabrakło mi odwagi, by pójść drogą tą samą i powtórzyć przed Wami, Czcigodni Panowie, ów opis i opowieść, którejbym dorównać nie zdołał. Postawiłem sobie zadanie odmienne. Pragnąłem wskazać sens wewnętrzny, sens logiczny w ewolucji Elektromagnetycznej Teorii; pragnąłem Panów przekonać o tem, że Maxwellowska postać Teorii zawierała w sobie, niejako w embryonalnem przygotowaniu, następne stadium myślenia, które połączono z nazwiskiem Lorentza.

## IX.

A zatem Lorentz, Larmor, J. J. Thomson i inni poczytują dostrzegane przez nas elektromagnetyczne zjawiska za zjawiska tłumne. Sądzą, że one wynikają ze spółistnienia, w każdym obszarze materji, dostępnym zmysłowemu badaniu, olbrzymiej liczby pól elementarnych; pól domniemanych, hypotetycznych, których prawa są proste. Istnieją dwa rodzaje pól, pola elektryczne, pola magnetyczne. Każde pole ma niejako jądro albo ognisko, w którym jest skupione, w którym się zbiera. Możemy przypisać istnienie pola istnieniu ogniska, lecz równie dobrze moglibyśmy wyrażać się przeciwnie. Pomimo, iż znamy dwa rodzaje pól, elektryczne i magnetyczne, nie potrzebujemy bynajmniej hipotezy dwóch rodzajów ognisk; nie potrzebujemy jednocześnie elektronów i magnetonów. Albowiem istnienie pól jednego rodzaju możemy wytłómaczyć zmiennością pól drugiego rodzaju. Teoryi magnetonów, która byłaby zapewne bardziej sztuczna, nie próbowano; elektrony zaś okazały się dawno znajome. Fizycy znali je z Elektrolizy, znali w katodowych promieniach. Zapewne, były to przeważnie elektrony ujemne swobodne, którym, przez kilka-

naście lat ostatnich, przyglądaliśmy się w Fizyce. Dodatnie dotychczas okazały się powściągliwe w obcowaniu z Nauką. Lecz, skoro istnieją ujemne, muszą istnieć dodatnie, mimo, że nie lubią odłączać się od materyalnego swego towarzystwa.

Elektron zatem jest to ograniczony, mały zakres przestrzeni (lecz nie punkt geometryczny bynajmniej), który ma własność szczególną: okazuje pewien skończony, dość dokładnie nam znany, elektryczny ładunek. Wyobraźmy sobie, że elektron porusza się (*B*); jego ładunek porusza się zatem. Ładunek, który się przemieszcza, bez straty, bez zysku, jest równoważny elektrycznemu prądowi; czynnością prądu jest, iż roznosi ładunki. Zatem poruszający się elektron, to pewien słaby lecz określony prąd, płynący w wiadomym kierunku. Jak każdy prąd, wytwarza on pole magnetyczne w całym swym sąsiedztwie. — Oto fundamentalne twierdzenie; zobaczmy teraz, co z niego wynika.

## X.

Powiedzieliśmy, że ruch elektronu jest równoważny pewnemu elektrycznemu prądowi. Według Lorentza, niema wogóle innego prądu przewodzonego, jak tylko taki, polegający na

płynięciu elektronów. Metale naprzykład, są to ciała, których atomy troszczą się mało o elektrony ujemne; nie potrafią ich widocznie utrzymywać na uwięzi przy sobie. Wiedzieliśmy o tem oddawna ze zjawisk elektrolizy; lecz tę wiadomość dopiero teraz wypowiadamy w elektro-nowym języku. Zatem elektrony ujemne, swobodne, nie trzymane na wodzy w łonie ciała metalicznego, podpadną całkowicie pod wpływ pola elektrycznego, skoro się ono w metalu objawi. Wyobraźmy sobie takie pole; elektrony biegną gromadnie za jego apelem, ciągną jak ptaki stadami; nabierałyby nawet rychło rozpędu (albowiem są bezwładne), gdyby nie gęsto rozsiane atomy metalu, z którymi muszą spotykać się co chwila. Atomy hamują bieg elektronów, krzyżują ich drogi, rozsypują ich szyki, kierują je we wszystkie strony przestrzeni, odbierają im energię, którą elektrony w polu posiadły. Oto wyrównawczy, dysypujący mechanizm; oto koercya, powszechna, zawsze niwelująca czynność materji.

Przypuśćmy, że pole elektryczne jest zmienne, ale zmienne powoli; oscylując wciąż koło zera, powiedzmy 100 razy na sekundę zmienia kierunek. W czasie, wynoszącym  $\frac{1}{100}$  część sekundy, elektron odbywa olbrzymią liczbę spot-

kań z atomami metalu; czas jego drogi średniej swobodnej, upływający pomiędzy dwoma kolejnymi spotkaniami z atomem, jest nadzwyczajnie krótki w porównaniu z  $\frac{1}{100}$  częścią sekundy. A zatem, zanim pole elektryczne zdoła istotnie się zmienić, elektrony zdążą przyswoić sobie jego energię i przekazać ją bezpiecznie atomom materji. Względem pól tej zmienności, mechanizm koercyi okazuje się doskonale ruchliwy i zwrotny; w razie pól zmiennych powoli, mechanizm ten jest zawsze dostosowany, mamy zatem prawa dysypacji proste i trwałe, niezależne od częstości zmian pola; mamy pozory przewodnictwa stałego, wrodzonego rodzajowi materji, w której prąd płynie.

Teraz przypuśćmy, że pola są nadzwyczaj szybko zmienne, że migawkowo mijają; przypuśćmy, że okres peryodycznej zmienności pola (powiedzmy w srebrze) jest  $\frac{1}{10^{14}}$  sekundy lub jest jeszcze krótszy. Czas drogi średniej swobodnej elektronu wśród atomów srebra jest już porównywalny z tak krótkim okresem. Zanim elektrony zdołają nadażyć, zanim nabędą rozpędu, zanim ukończą grę należytą działania i oddziaływania z atomami metalu, pole już zmienia kierunek, już woła je i pociąga w stronę przeciwną, już niszczy robotę, którą rozpoczęło



przed chwilą. Wobec pól tak szybko zmieniających, mechanizm koercyi okazuje się zbyt ociężały; wprawdzie nieustannie rozpoczyna swą czynność, ale ta czynność rwie się, wciąż niedokończona; koercya nigdy w całości nie jest dopuszczona do głosu. Teraz rozumiemy, dlaczego srebro absorbuje falę biegnącego w niem światła żółtego o wiele słabiej, niżby było powinno według Teorii Maxwella. Chłonełoby ono, gasiłoby, jak z tej Teorii wypada, tylko w tym razie, gdyby armada pancerników-atomów mogła rozwinąć całą niszczycielską potęgę, do której (w zasadzie) jest zdolna, wobec torpedowców-elektronów, miotanych siłą świetlnych falowań (C).

## XI.

Przenieśmy się myślą do zgoła odmiennego przypadku. Wyobraźmy sobie ciało nie przewodzące, dielektryk, jak zwykle mawiamy, np. szkło, lub alkohol, lub tlen albo wodór. Poddajemy je działaniu pola elektrycznego statycznego, nie zmieniającego się z czasem. Co dzieje się w dielektryku? Wyobraźmy sobie elektrony w cząsteczkach szkła, alkoholu, tlenu, wodoru; wyobraźmy je sobie w każdym atomie, wchodzącym w skład tych cząsteczek. Te elektrony nie są

swobodne, jak w metalach; pod wpływem pola nie mogą odbiegać daleko, nie mogą szybować w międzycząsteczkowym przestworzu; gdyby mogły, ciało byłoby przewodnikiem. Nazwijmy je »związanymi« elektronami, dla krótkości.

Wyobraźmy sobie najprostszy układ elektronów: np. układ, który tworzą dwa elektrony: dodatni, ujemny. Jakowaś siła trzyma je we wzajemnem pobliżu, w równowadze. (Możemy wyobrażać sobie, że elektron dodatni jest tylko punktem pomyslanym, np. środkiem kuli, którą (niemal) jednostajnie wypełniają elektrony dodatnie; działanie kuli na elektron ujemny sprowadza się wówczas do przyciągania, wywieranego pozornie przez środek kuli. Możemy wyobrażać sobie różne elektronowe modele; niestety, nie obmyślono dotychczas takiego, który zgadzałby się z pewnemi fundamentalnemi faktami: np. z prawidłowością, poznaną przez Balmera i innych, w budowie widm liniowych).

Poddajemy układ dwóch elektronów działaniu pola; ono popycha jeden elektron, drugi pociąga. Układ elektronowy w polu został rozciągnięty, jak taśma kauczukowa w rękach siłacza. Wiemy dobrze, że taśma rozciągana, byle nie do zerwania, opiera się rozciąganiu; mówimy, że jest elastyczna, że działa w niej

sprężystość, która przywraca jej postać pierwotną, gdy ustaje działanie zewnętrzne. Podobnie i układ elektronowy opiera się rozciąganiu przez pole; widocznie i na elektrony związane, w łonie atomów materji, działają siły przywracające czyli restytucyjne, ogólnikowo podobne do sprężystych. (Powiadamy: »ogólnikowo podobne«; istotnie, podobieństwo nie sięga głęboko, jest powierzchowne; uczą nas o tem wspomniane przed chwilą prawidłowości widm liniowych). Pod łącznym wpływem tych sił i działającego pola elektrony ustanawiają się, po dokonanych przesunięciach, w nowych położeniach równowagi. Jasną jest rzeczą, że skutki elektryczne danego pola, przemieszczenia elektryczne w łonie i na granicach dielektryka, będą zależne od długości dokonanych przesunięć i od ładunków, niesionych przez elektrony. Owe skutki elektryczne danego pola, niejako jego powodzenie elektryczne w danym dielektryku, możemy wyrazić przez t. zw. »polaryzację« ciała. Zatem polaryzacja dielektryka, w danym, w określonym polu, zależy od sił przywracających, działających na elektrony związane w łonie atomów substancji. Dopóki pole jest niezmiennie, dopóki równowaga trwa, polaryzacja jest stała i stosunek jej do pola jest

stały; t. zw. zdolność elektryczna dielektryka wydaje się własnością wrodzoną dielektrycznej substancji.

## XII.

Gdy układ materialny sprężysty został pobudzony, lub peryodycznie by w a pobudzany do ruchu, nie mamy równowagi, mamy drgania. W pierwszym przypadku, gdy układ (powiedzmy: kamerton, sprężyna, lub dzwonek) drga dobrowolnie, drgania są jedynie dziełem sił sprężystych i bezwładności; nazywamy je wówczas drganiami własnymi lub swobodnymi układu. Ich częstość zależy od natury sił sprężystych i wogóle od natury samego (drgającego) układu. Inaczej dzieje się, gdy drgania odbywają się pod wpływem siły zewnętrznej, peryodycznie pobudzającej układ do drgania. Może się wówczas wydarzyć, że siła zewnętrzna narzuca układowi tempo własne; drgania takie, odbywane pod komendą siły zewnętrznej, nazywamy wymuszonymi. Częstość takich drgań jest tedy równa częstości zmian peryodycznych w sile wymuszającej; ale amplituda drgań wymuszonych nie jest wyłącznie zależna od prędocy zewnętrznej: amplituda zależy po części

od natury układu, po części od amplitudy i od częstości zewnętrznej siły wymuszającej.

### XIII.

Niechaj biegnie przez dielektryk (to znaczy: przez tłum elektronów, związanych w trwałe układy) fala elektromagnetyczna, dla przykładu powiedzmy: fala światła żółtego. Z falą nadbiega jej pole oscylujące, bijące w takt, którego szybkości nie możemy sobie wcale wyobrazić. W układach elektronowych rozpoczynają się drgania; elektrony, w tem samym tempie jak pole, wahają się dokoła poprzednich położeń równowagi (*D*). Polaryzacja, zależna od przesunięć elektronów (względem ich położeń równowagi, zob. § XI.) zmienia się teraz, peryodycznie jak pole, z tą samą częstością. Zauważmy to pilnie: częstość polaryzacji jest równa częstości pola czyli częstości fali; ale amplituda polaryzacji zależy, według § XII-go, po pierwsze: od natury drgających układów, tu elektronowych; powtórę od amplitudy fali; po trzecie od częstości fali. Widzimy zatem co następuje: stosunek polaryzacji do pola fali elektromagnetycznej jest rozmaity, w tem samym materyalnym ciele, mianowicie zależy od

częstości zmian pola, czyli od długości fali, lub (jak subiektywnie mawiamy) od barwy.

Fala biegnie; pole oscyluje; elektrony drgają. Wiemy, że oscylacje pola i drgania elektronów, jedno i drugie, stanowią prądy dielektryczne. Według hipotezy Maxwella, jedno i drugie wytwarzają w swem sąsiedztwie pole magnetyczne. To pole jest zmienne peryodycznie; ono przez indukcję wytwarza pole elektryczne, również peryodycznie zmienne. Tym sposobem w łonie dielektryka naszego szerzy się fala.

Ażeby to lepiej zrozumieć, spróbujmy na chwilę unicestwić, odrzucić precz elektrony. Elektrony i ich drgania znikają; polaryzacja znika; ale samo pole istnieje i po dawnemu zmienia się peryodycznie. Znika jedna część prądów dielektrycznych: ta, która wynikała z drgań elektronów. Druga, która zależy od oscylacji pola, nie znika. Lecząc, odrzucając elektrony, cóż otrzymaliśmy? Otrzymaliśmy próżnię; dielektryk przeobrażiliśmy w eter czysty. Powiadamy więc: w czystym eterze fala rozbiega się dzięki magnetycznemu działaniu samych tylko oscylacji pola elektrycznego. Prędkość takiej fali, biegnącej w czystym eterze, jest dokładnie znana; ona wydaje się dzisiaj niejako

cechą mierniczą tego wszechświata, wrytą już w fundamencie jego budowy.

Przywołajmy teraz napowrót do bytu elektronów związane. Eter przemienia się w ciało dielektryczne, pojawia się polaryzacja, drgania elektronów odbywają się w takt przebiegającej fali. Podsycana przez ten podwójny mechanizm, fala szerzy się teraz z inną, niż poprzednio, prędkością; spółudział polaryzacji, która wplotła się w grę oddziaływania pól elektrycznych i magnetycznych na siebie nawzajem, wpływa na prędkość. I zauważmy, że wpływa rozmaicie (czyli wyróżniająco) na prędkość fal rozmaitych tj. rozmaitej długości; albowiem, jak przed chwilą widzieliśmy, stosunek polaryzacji do pola, w przypadku fal rozmaitej długości, jest rozmaity. Krótko mówiąc: fale krótsze i dłuższe, z winy polaryzacji, biegną w naszym ciełe z rozmaitą prędkością.

Owóż, już dawno nauczył nas Huyghens, że, gdy fala w danym ciełe biegnie z inną prędkością niż w próżni, że wówczas mówimy: fala załamuje się w tem ciełe; powiadamy: współczynnik załamania (tej fali, w tem ciełe) różni się od jedności. Pokazał, że współczynnik załamania fali w ciełe jest stosunkiem prędkości rozchodzenia się w próżni do prędkości rozcho-

dzenia się w uważanym rodzaju materji. Powiadamy zatem, wyrażając się językiem Optyki: współczynnik załamania światła w ciełe, z winy polaryzacji, więc z winy elektronów, jest rozmaity, jest niejednakowy dla fal krótszych i dłuższych. Oto jest treść zjawiska, zwanego w Optyce *dyspersją (E)*.

#### XIV.

Badanie zjawisk dyspersji (i istotnie z nią złączonej absorbcji czyli extynkcji, o której tu nie wspominaliśmy) wypełnia rozdział bogaty pięknej Nauki Optyki. Widzimy, że ono może powiedzieć wiele o elektronach związanych, o urządzeniu atomów materji. Wspomnę przelotnie o jednym tylko wyniku. Zasadzając się na znajomości dyspersji w niektórych ciałach gazowych, obliczono liczbę elektronów związanych w cząsteczkach tych gazów, przynajmniej tych, powiedzmy »dyspersyjnych« elektronów, które przebiegająca fala świetlna jest zdolna mocno pobudzić do drgania. Okazało się, że liczba tych elektronów jest zgodna (zazwyczaj) z sumą czyli liczbą łączną jednostek *wartościowości chemicznej*, czynnych w uważanych gazowych cząsteczkach (*F*). Wartościowość chemiczna wydawała się fizykom,

przez czas długi, szczególną osobliwością; zdawało się, że jej ostre liczbowe zarysy (prawda, że wyraziste tylko w typowych przypadkach) urągają zasadom ciągłości. Czy Teorya Dyspersyi, czy Elektrooptyka wogóle, dokończy, co rozpoczęła Elektroliza: czy pozwoli nam zrozumieć wartościowość?

## XV.

Jednem z najświetniejszych śród tyłu odkryć, których dokonał Faraday, było, jak on sam się wyrażał (niejasnem przeczuciem wiedziony) że: można »magnesować światło«; że można »oświetlać linie sił magnetycznych« (1845 r.). Powiadamy dzisiaj: fala świetlna, spolaryzowana liniowo, biegnąca przez ciało materyalne w kierunku linii sił obcego pola magnetycznego, ulega skręcaniu (dokoła kierunku tych linii) płaszczyzny polaryzacji.

Teorya Elektronów tłómaczy odrazu owo zjawisko, tak zwany efekt Faradaya. Wiemy dobrze, jeszcze od czasu Fresnela, że fala światła liniowo spolaryzowanego, o niezmiennem skierowaniu płaszczyzny polaryzacji, może być pochytywana za wynik spóldziałania dwóch fal spolaryzowanych kołowo (i przeciwnie), które biegną w ciele *z tą samą* prędkością. Przypuść-

my teraz, że owe dwie fale, spolaryzowane kołowo, biegną w ciele z jakiegokolwiek przyczyny z *rozmaita* prędkością; wyda nam się wówczas, że płaszczyzna polaryzacji fali powstającej wykręca się, dokoła kierunku rozchodzenia się, coraz bardziej, im fala posuwa się dalej. Owóż, według Teoryi Elektronów, prędkość dwóch fal spolaryzowanych kołowo, ale w kierunkach przeciwnych, biegnących przez ciało w kierunku pola magnetycznego, *musi* istotnie być różna, mianowicie z tego samego powodu, który sprawia zjawisko Zeemana, z powodu działania pola magnetycznego na poruszające się elektrony, działania, nie symetrycznego w przypadku naszych dwóch fal spolaryzowanych kołowo.

## XVI.

Trudności i szkopyły i niejasności u podstaw są widoczne wszędzie, w Elektronowej Teoryi. Ale niejasności nie zgubiły jeszcze żadnej w Fizyce Teoryi. Owszem, szczerze wyznajmy, że doskonale jasnymi bywają zazwyczaj wyčerpane Teorye. Płodne i żywe Teorye, w naszej Nauce, nie bywają wyprowadzane z jakowejś wszechpotężnej przesłanki, drogą czystej dedukcyi, lecz, bez wyjątku, są *intuicyjne*.

Teorya Elektronów jest także intuicyjna. Jak wszyscy wielcy Mistrze w Rozumieniu Natury, Lorentz, w swej Teoryi, przypuścił tylko tyle, ile było koniecznie potrzeba przypuścić; resztę pozostawił w cieniu.

Powiedzą nam, być może, że resztę pozostawił do wyświetlenia następcom. Czcigodni Panowie! inaczej o zadaniu Teoryj rozumiem. Przyrównano je dawno do czasowych ruszto- wań, które, ku ułatwieniu pracy, wnoszą budo- wniczowie. Dodajmy, że gdy jedno rusztowanie (już niepotrzebne) opada, odsłania się wówczas w Nauce nie Gmach Prawdy gotowy, lecz tylko rusztowanie nowe, następne. Każda Teorya w Nauce ma do spełnienia pewne zadanie; przeto każda ma kres właściwy istnienia (*G*). Każda ma swoją powinność; ale wspólny ich cel jest: ukazywać nam owe, jak je Pismo Święte nazywa, *rzeczy wielkie y nieogarnione y dxwy, którym nie masz liczby* (Księgi Hiob, IX, 10).

### PRZYPISKI.

(A) Teorya Maxwella odbiega jeszcze jaskrawiej od faktów, niż tu przytoczyliśmy. Ażeby zachować założenia tej Teoryi w Optyce ciał metalicznych, należy poczytywać i przewodnictwo i zdolność

elektryczną nie tylko za zmienne, lecz za zespolone wielkości. Wolno nam tak postępować w rachunku, posługując się założeniem podobnym, jako prostem skróceniem, umową; jednakże wypadek taki fizycznie oznacza, że Teorya Maxwella, poczynając od pewnej częstotliwości, wypowiada usługi.

Wiemy z doświadczeń Hagena i Rubensa, nad zdolnością odbicia metali, że, poczynając od niżej podanych długości fali, założenia Maxwellowskie stają się coraz wyraźniej (im te długości są krótsze) niezdolne do oddania dostrzeżeń:

w srebrze,	>	od $3.10^{-4}$ cm.,	>
w miedzi,	>	od $2.10^{-4}$ cm.,	>
w stali,	>	od $12.10^{-4}$ cm.,	>

w bismucie, przy  $14.10^{-4}$  cm., mamy już jawną niezgodność.

(B) Gdyby mnie, w tem miejscu wywodu, uważny słuchacz zapytał: elektron porusza się, lecz względem czego? byłbym w wielkim, co do odpowiedzi, kłopotcie. To pytanie Nauka zadała sobie odrazu i zмага się z niem nieustannie; trudności, które napotkała, szukając odpowiedzi, zagroziły (jak wspominaliśmy na wstępie) pojęciom staro- dawnym ruchu, przestrzeni i czasu.

(C) Przedstawienie rzeczy w tem miejscu jest uproszczone z umysłu. W istocie, własności optyczne metalu (np. jego promieniowanie) zależą nie tylko od długości średniego czasu trwania jednej drogi swobodnej elektronu pośród tłumy atomów; istnieje jeszcze inne tempo, które jest charakterystyczne dla mechanizmu, ukrytego w metalu; to

czas trwania spotkania elektronu z atomem. To tempo wychodzi na jaw wobec fal nadzwyczajnie krótkich; jak to wskazuje np. formuła, wyrażająca promieniowanie ciała, podana przez W. Wiena.

(D) Drgania swobodne odbywają się także; możemy je tutaj zaniedbać, albowiem ich rola jest podrzędna, dopóki absorbeyta jest słaba.

(E) Kiedy współczynnik jest większy, kiedy jest mniejszy od jednośc? Innemi słowy: kiedy fala biegnie powolniej w ciele elektronowem niż w eterze, kiedy zaś prędzej? Przypadek pierwszy wydarza się, gdy polaryzacya zgadza się z polem co do znaku; drugi — gdy jest przeciwnego znaku. O znaku tym znowu rozstrzyga mechanizm drgań wymuszonych. Gdy częstość fali jest mniejsza niż częstość drgań własnych (swobodnych) układów elektronowych, mamy pierwszy przypadek, w przeciwnym razie mamy przypadek drugi.

(F) Liczba elektronów dyspersyjnych wypada, ze spostrzeżeń nad dyspersyą normalną, przybliżenie następująca:

w cząsteczce  $H_2$  : 2  
w cząsteczce  $O_2$  : 4  
w cząsteczce  $CO_2$  : 8; i t. d.

Azot stanowi jednak wyjątek od reguły, dotychczas niewyjaśniony.

(G) Teoryę Elektronów zapewne wyruguje ze sceny, a może całkowicie zastąpi, uogólniona, być

może że zatomizowana, Teorya Promieniowania, wszczęta przez Kirchhoffa, Maxwella, Bartoli'ego, rozwijana przez Boltzmann'a, Smoluchowskiego, Wiena i wielu innych, przez prof. Plancka z Berlina doprowadzona do istotnego rozkwitu.



55538