

dać nauce. Dzisiaj wprawdzie zawody „uczone” są w znacznej części dla kobiet otwarte (i byłby już czas, żeby znikły jakiekolwiek w tym względzie ograniczenia) lecz znaczna większość kobiet będzie zawsze zajęta tym zawodem, jak powiada J. St. Mill, „w którym mężczyzna konkurencji jej czynić nie potrafi”.

Wreszcie, gdy mowa o kobietach, które mają upodobanie do nauki i które poświęcają się jej całkowicie, to przecież nie ulega wątpliwości, że mężczyźni zazwyczaj odznaczają się większą inicjatywą i samodzielnością. Jest to raczej właściwość charakteru niż umysłu; ale właściwość ta istnieje i odgrywa rolę nadzwyczaj ważną w samodzielnej twórczości naukowej. Składają się na nią różne cechy: pewna awanturniczność, odwaga w wypowiedzaniu zdania, upór i zaufanie do siebie samego, pewne zaciętrzewienie w swych przedsięwzięciach — wogóle cechy charakteru, które obserwujemy u chłopców bijących się na ulicy. One były źródłem powodzenia Kolumba i one też dają natchnienie uczonym badaczom do odkrywania nowych dróg badania naukowego; one są źródłem tego, co nazywamy genialnością.

Nie wydaje się to prawdopodobnem, żeby na polu twórczości naukowej mogła zapanować z biegiem czasu równość zupełna, choć dysproporcja obecna niewątpliwie z czasem zmaleje. Kobiety odznaczają się przecież pewnymi specjalnymi zaletami: drobiazgową sumiennością i mrówczą pilnością pracy, które powinny im dawać wybitne uzdolnienie w kierunku np. chemji, gdzie ważną rolę grają systematyczne, mozolne poszukiwania doświadczalne.

Kobietom, które wstępują na drogę naukową, powinno się ułatwiać ich powołanie; powinny nareszcie zniknąć wszelkie zewnętrzne przeszkody, owe śmieszne przesady, owe przestarzałe poglądy, które zamykają dostęp kobietom do niektórych instytucji naukowych, które im utrudniają kształcenie się, pracę naukową, dostęp do katedr uniwersyteckich. Niech tu (jak na każdym innym polu) panuje zasada wolnej konkurencji. Oby ta konkurencja była jaknajżywsza.

XII. PRZEDMIOT, ZADANIE, METODA ORAZ PODZIAŁ FIZYKI.

Treść: 1. Objasnienie przedmiotu fizyki; jej stosunek do innych nauk przyrodniczych. — 2. Zadanie fizyki. Czy poznajemy rzeczywistość? — 3. Czy fizyka tłumaczy zjawiska przyrody? Celowość. Zasada przyczynowości. — 4. W jakim celu uprawiamy fizykę? — 5. Metody fizyki: indukcja i dedukcja. — 6. Obserwacja i doświadczenie. — 7. Mierzenie. — 8. Jednostki, wzorce, przyrządy miernicze. — 9. Ujęcie matematyczne materiału doświadczalnego, wzory empiryczne i racjonalne; dlaczego dążymy do ścisłości i prostoty? — 10. Znaczenie hipotez i teoryj. — 11. Rodzaje hipotez i teoryj. — 12. Związek fizyki z matematyką. — 13. Podział fizyki.

Poradnik dla Samouków. Wskazówki metodyczne dla studujących poszczególne nauki. — Fizyka, Geofizyka, Meteorologia. — Wydawnictwo A. Heflicha i St. Michalskiego z zapomogi Kasy im. Dra J. Mianowskiego. Wydanie nowe. Tom II. Warszawa 1917; str. 3—62).

1. Pojęcie fizyki nie da się określić krótkimi słowami przez podanie ścisłej i jasnej definicji, gdyż pojęcie to nie jest wynikiem z góry ułożonego logicznego podziału nauk, lecz wytworzyło się w sposób do pewnego stopnia nieprawidłowy i przypadkowy, w ciągu długowiekowego historycznego rozwoju umiejętności.

Ażebymy sobie jednak wytworzyć obraz tej nauki, może najlepiej będzie zastanowić się nad definicjami często podawanymi oraz nad stosunkiem fizyki do innych nauk jej pokrewnych.

Słowo fizyka pochodzi od greckiego *φύσις*, przyroda, oznacza zatem naukę o przyrodzie; podobne, nieco głębsze pojęcie wyraża angielski termin „Natural Philosophy”, do dziś dnia często używany, oraz dawna niemiecka nazwa „Naturlehre”, t. j. fizyka

¹⁾ [Rozprawa niniejsza stanowi „Wstęp Ogólny” do działu „Fizyka”, opracowanego przez M. Smoluchowskiego w wydaniu nowem *Poradnika dla Samouków*; przyp. wyd.].

łącznie z chemią i astronomią, którą to nazwę spotykamy dziś jeszcze niekiedy w nauczaniu średnim.

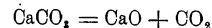
Nie można jednak „fizyki“ tłumaczyć dosłownie jako „nauki o przyrodzie“, gdyż nie obejmuje ona np. nauk biologicznych, zajmujących się zjawiskami życia, jak (między innymi) wzrostem tkanek roślinnych lub zachowywaniem się czerwonych ciałek krwi, co stanowi osobny dział nauk przyrodniczych. „Nauka o zjawiskach przyrody martwej“ byłoby znów określeniem za ciasnym, gdyż np. załamywanie się promieni światła w soczewce ocznej albo zjawiska ruchu członków naszego ciała wchodzą niewątpliwie w zakres fizyki, choć są zjawiskami świata żywego. Wogóle nie podlega to żadnej wątpliwości, że wszystkie t. zw. prawa fizyczne stosują się także i do przyrody żywej; że ciało żywe tak samo spada pod wpływem ciężkości jak ciało martwe, że zasada zachowania energii tak samo stosuje się w obu przypadkach i t. d.

Zdaje się, że określenie: „nauka o zjawiskach przyrody martwej“ oraz o zjawiskach, które są wspólne przyrodzie żywej i martwej“ usuwa te trudności i nie podlega żadnym zarzutom z punktu widzenia podziału przyrody żywej i martwej.

Nasuwać się jednak pewne wątpliwości, wskazujące, że to określenie jest za obszerne pod wielu innymi względami. Przedewszystkiem zauważymy, że obejmuje ono równie dobrze zjawiska fizyczne jak i te, które nazywamy chemicznymi. Jakże odróżnić te dwa rodzaje zjawisk? Co uważać za cechę charakterystyczną, oddzielającą fizykę od chemii? W pewnych przypadkach łatwo nam tę kwestię rozstrzygnąć: spadanie ciała ciężkiego, ogrzanie drutu wskutek przechodzenia prądu elektrycznego, topienie się lodu, parowanie wody zaliczamy do zjawisk fizycznych; wytwarzanie wodoru przez nalanie kwasu siarkowego na cynk, palenie się gazu świetlnego uważamy za zjawiska chemiczne. Powiadamy zwykle, że w ostatnich ciałach ulegają przemianom materjalnym, że zmienia się ich skład lub ich struktura materjalna, gdy tymczasem w zakres fizyki wchodzi tylko zjawiska, odbywające się bez takich zmian. Przeciwno takiemu objaśnieniu możnaby jednak podnieść pewne zarzuty. Przedewszystkiem zrozumiałe ono jest właściwie tylko dla człowieka już obeznanego z pojęciami składu chemicznego, struktury materjalnej i t. d., zatem pojęciami naogół mniej znanymi od pojęcia samej fizyki i chemii. Powtóre, choć przyznać można, że określenie takie odpowiada istotnie dość dobrze dawniejszemu tradycyjnemu rozróżnianiu

tych nauk, to przecież dzisiejsza nauka na taki podział zgodzić się nie może. Wszak istnieją zjawiska, leżące na pograniczu, jak np. absorbacja oraz rozpuszczanie się ciał i t. p.; nie wiadomo, do której z owych dwóch nauk zaliczyć je wypada; równocześnie podział ów rozdziela sztucznie zjawiska niewątpliwie blisko spokrewnione.

Rozważmy np. ściśłą analogię między pewnym zjawiskiem dysocjacji chemicznej a zjawiskami fizycznymi zmian stanu skupienia: kiedy np. lód albo woda zamienia się w parę wodną, prężność pary wodnej wywołanej zależy tylko od temperatury panującej w tym systemie, nie zaś od ilości lodu albo wody. Podobnie np. przy t. zw. wypalaniu wapna:



prężność wywołującego się bezwodnika węglowego zależy wyłącznie od temperatury. Analogia ta idzie jeszcze dalej, gdyż w jednym i drugim przypadku dokonanie się procesu pochłania pewną ilość ciepła (ciepło parowania, ciepło dysocjacji), której wielkość w obu przypadkach określa się za pomocą tego samego wzoru, jako zależną od owej prężności. Tak samo i w innych przypadkach, t. zw. „reguła Gibbsa“ wykazuje ściśle pokrewieństwo różnych zjawisk, które dawniej rozróżniano starannie jako fizyczne albo chemiczne.

Wprawdzie i w innych naukach zdarza się często, że nie znajdujemy odpowiedniej linii odgraniczającej w sposób ścisły i naturalny dwie umiejętności (np. między zoologią i botaniką); ale w tym przypadku zauważyć należy, że ponadto ostatecznem dążeniem teorii chemicznych jest zawsze sprowadzenie zjawisk chemicznych do prostych praw fizycznych; nigdy naodwrot, zjawisk fizycznych nie sprowadzamy do prawideł chemii.

Istotnie, w miarę postępu nauki coraz większe obszary zjawisk, uważanych dawniej za czysto chemiczne, przechodzą do dziedziny fizyki, gdyż zostają wytłumaczone jako specjalne przypadki ogólnych praw fizycznych. Tak powstał w przeciągu ostatnich czterdziestu lat osobny dział, t. zw. chemja fizyczna, obejmująca właśnie zjawiska wyjaśnione na podstawie zasad fizyki; należą do niej powyżej wymienione przykłady i analogiczne zastosowania zasad termodynamiki, dalej t. zw. elektrochemja, chemja kolloidów i t. p. działu; blisko z tym działem związana jest krystalografia, stanowiąca równocześnie łącznik między fizyką a mineralogią. Jako właściwa chemja, pozostają wobec tego dziedziny zjawisk chemicznych, w których dotychczasowe badania ograniczały się do gromadzenia olbrzy-

miego materiału empirycznego i do prowizorycznego porządkowania go z punktu widzenia kilku prostych, ogólnych prawideł (teoria atomistyczna, pojęcie wartościowości, periodyczny układ pierwiastków i t. d.), gdyż nie udało się dotychczas wytłumaczyć i zredukować go do podstawowych zasad fizycznych. I tutaj mamy jednak już do zanotowania nowsze, bardzo interesujące, choć na razie nieudane próby wytłumaczenia empirycznych prawideł podstawowych chemii, jak wartościowości, systematu periodycznego, przy pomocy spekulacji nad budową atomów z elektronów składowych. Zapewne, dzisiaj jeszcze bardzo daleko do tego celu, ale gdyby kiedyś udało się dociekania te ugruntować i poprowadzić dalej, z czasem może przyszłoby do zupełnego zlania się chemii z fizyką.

Wszystkie te kwestje roztrząsamy w tym celu, aby wykazać, że podział na fizykę i chemję nie jest uzasadniony w rzeczy samej, że granica między temi umiejętnościami zaciera się w miarę rozwoju historycznego; właściwie możnaby twierdzić, że pod względem przedmiotu, celu i metody nauki, chemja stanowi tylko poddział fizyki w ogólniejszem znaczeniu słowa. Nie wynika z tego oczywiście, żeby trzeba było zwalczać pojęcie chemii jako nauki samodzielnej. Wytworzyło się ono wskutek rozwoju historycznego; pozostanie nadal do pewnego stopnia uzasadnione, gdyż podział pracy jest konieczny. Chemja dzisiejsza tworzy taki chaotyczny ogrom faktów, taką tkaninę różnych reguł ścisłych lub przybliżonych, że niema człowieka, który potrafiłby objąć tę naukę, z pewną gruntownością, ze wszystkimi jej działami; tem mniej jest to możliwe dla człowieka zajmującego się fachowo właściwą fizyką. Rzecz charakterystyczna, że najwybitniejsi chemicy dzisiejsi pracują w sposób twórczy, każdy tylko w obrębie swojej, dość ciasnej specjalności naukowej, gdy najwybitniejsi nowsi fizycy (lord Kelvin, H. A. Lorentz, J. J. Thomson, Planck, lord Rayleigh i inni) obejmują cały obszar fizyki i w najrozmaitszych jej dziedzinach występowali z poważnymi pracami twórczymi. Fizyka właściwa jest nauką, dającą się objąć do pewnego stopnia przez jednego człowieka, chemja dzisiejsza już dawno przerosła tę granicę. Pochodzi to przede wszystkim właśnie stąd, że fizyka w znaczenie wyższym stopniu dała się całkowicie sprowadzić do kilku zasad naczelnych, ułatwiających objęcie całego materiału. Możnaby, chcąc uzmysłowić tę różnicę, porównać chemję do poplątanych i pogmatwanych nici a fizykę do kłęбка regularnie zwiniętego.

Gdy chodzić będzie o kwestje praktyczne, np. o wskazanie podręczników, będziemy zatem, zgodnie z tradycyjnym podziałem, używali nazwy „fizyka” do określenia tej nauki w ścisłejszem znaczeniu, t. j. z wyłączeniem właściwych zjawisk chemicznych, choć zdajemy sobie dobrze sprawę z tego, że to jest podział chwiejny i właściwie nieracjonalny. Gdy zaś chodzi o kwestje ogólne, rozważanie metod nauki z punktu widzenia filozoficznego, stosunek jej do innych umiejętności, jak właśnie w tym rozdziale wstępnym, to pojmujemy nazwę fizyki w ogólniejszem znaczeniu, t. j. nie wyłączając chemii, gdyż oddzielenie tej gałęzi nie miałoby tutaj żadnej racji logicznej.

Czy zatem, powracając do kwestji, z której wyszliśmy, wolno nam powiedzieć: fizyka (wraz z chemją) jest to nauka o zjawiskach przyrody martwej oraz o zjawiskach wspólnych przyrodzie żywej i martwej? Wszak w tem określeniu mieściłaby się także astronomja, geofizyka, meteorologia, geologia i t. d., które niewątpliwie wszystkie opierają się ostatecznie na fizyce, ale które stanowią nauki odrębne. Przedmiot tych nauk jest ten sam jak przedmiot fizyki: jest to przyroda (z wyłączeniem zjawisk życiowych), ale odmienny jest punkt widzenia, gdyż w fizyce badamy tylko ogólne prawa przyrody, a przedmiotem tamtych nauk jest badanie zdarzeń indywidualnych. Tak np. fizyk i astronom zajmują się ruchami planet około słońca. Ale fizyka interesują one jako przykład z zakresu mechaniki oraz jako dowód istnienia grawitacji ogólnej. W każdym podręczniku mechaniki teoretycznej znajdujemy wywód newtonowskiego prawa grawitacji z empirycznie poznanych praw Keplera jak również odwrotnie, dowód, że przy istnieniu prawa grawitacyjnego ciała niebieskie muszą opisywać elipsy lub hyperbole około słońca. Ale indywidualne dane, określające tor Marsa, Ziemi, orientacja tych torów względem konstelacji gwiazd niebieskich i t. d. są dla fizyka zupełnie obojętne, a one właściwie interesują astronoma. Podobnie fizyk odkrywa zasady analizy widmowej, z których wnioskować można o składzie chemicznym ciał niebieskich, przesyłających ku nam swoje promienie, rejestruje pozycje linii widmowych różnych pierwiastków, ale z jakich substancji składają się protuberancje słońca, jakie jest widmo Syrjusza, to nie wchodzi w zakres fizyki, lecz astronomji albo astrofizyki. Kwestja, w jakich warunkach węgiel przechodzi w modyfikację krystaliczną, zwaną diamentem, należy do chemji; ale zbadanie warunków występowania

djamentów w pokładach itakolumitu, zbadanie, jakim sposobem one się tam wytworzyły podczas historycznego rozwoju kuli ziemskiej, to. należy do mineralogii albo geologii. W fizyce poznajemy zasady ruchu gazów, do fizyki należy badanie prądów powietrza, powstających wskutek nierówności temperatury. Ale zapisywanie, jakie wiatry panują w różnych miejscach kuli ziemskiej, oraz wytłumaczenie tych zjawisk należy do meteorologii. Ogólnie zatem powiedzieć możemy, że fizyk zajmuje się regularnymi, ogólnymi cechami zjawisk przyrody, albo, mówiąc krótko, prawami przyrody, a każde specjalne zdarzenie jest dla niego o tyle zajmujące, o ile stanowi ilustrację prawa ogólnego.

Stąd też pochodzi powszechna doniosłość dociekań fizyki. Zapewne żaden uczony nie wątpi, że istotne prawa, znane nam lub nie, którym podlegają zjawiska fizyczne, pozostaną zawsze i wszędzie niezmiennie, niezależnie od formy, jaką im nadaje rozwój nauki. Gdyby istnieli mieszkańcy Marsa i gdybyśmy mieli możliwość komunikowania się z nimi, przekonaliibyśmy się, że ich fizyka jest ta sama jak nasza. Może być, że znaliby różne szczegóły, których my nie znamy, prawdopodobnie mieliby odmienne teorie fizyczne, ale każde prawo fizyczne, przez nich stwierdzone, musiałoby dać się stwierdzić w analogicznym zakresie na naszej ziemi. Pogląd taki wydaje się bardzo śmiały, gdyż wychodzi daleko poza obręb bezpośrednich obserwacji, ale wiara nasza w powszechność praw fizycznych jest w znacznej mierze usprawiedliwiona okolicznością, że nigdy nie spostrzeżono zjawisk z nią niezgodnych.

Natomiast w naukach opisowych chodzi przede wszystkim o stwierdzenie indywidualnych faktów z pewnego zakresu zjawisk przyrody, a następnie o rozumowe powiązanie ich przy pomocy prawideł ogólnych. Astronom nadaje ciałom niebieskim nazwiska, niby osobom żyjącym, albo w inny sposób oznacza ich cechy indywidualne i śledzi ich losy. Dlatego gromadzi materiał obserwacyjny bez końca, rejestruje wszystkie gwiazdy widzialne, oblicza elementy toru każdej nowo odkrytej planetoidy, sprawdza, czy one się z czasem nie zmieniają, wykreśla mapy gór księżycowych. Oczywiście i on opierać się musi na prawach ogólnych, ale dla niego są one tylko środkiem do celu, którym jest odgadywanie losu każdego z tych ciał niebieskich w przyszłości lub w przeszłości.

Za jeden poddział astronomji ogólnej można uważać naukę o Ziemi, czyli geofizykę, z której znów pewne działy specjalnie

ważne wyodrębniają się jako meteorologia, geologia, geografia. Są to nauki, zajmujące się wyłącznie stosunkami, panującymi na kuli ziemskiej; odnoszą się one zatem do faktów indywidualnych i każda z nich zmieniałaby swoją treść w sposób zasadniczy, gdyby losy kuli ziemskiej z jakichkolwiek powodów w odmienny sposób były się ułożyły, gdyby n. p., z powodu obniżenia albo podwyższenia się temperatury słońca, woda znajdowała się wyłącznie w stanie stałym albo w stanie pary. Dlatego i tutaj praca doświadczalna polega przede wszystkim na inwentaryzacji zjawisk, na wykreślanu map geograficznych, geologicznych, magnetycznych, meteorologicznych i t. p., a ostatecznym celem tych nauk jest poznanie obecnego stanu Ziemi, wytłumaczenie, jaką drogą Ziemia doszła do stanu dzisiejszego, oraz przewidywanie zjawisk, które wystąpią na niej w przyszłości.

We wszystkich tych naukach występuje równocześnie mniej lub więcej wybitnie historyczny element badania. Co przez to rozumiemy, objaśnimy może najlepiej, przeciwstawiając sobie dwa charakterystyczne powiedzenia historyka i matematyka-przyrodnika. Angielski historyk Carlyle powiada: „Jedynie fakt ma znaczenie; Jan bez Ziemi przeszedł tędy, oto coś godnego uwielbienia, oto rzeczywistość, za którą oddałbym wszystkie teorie świata“. Słynny matematyk, fizyk i astronom Poincaré odpowiada w imieniu fizyka: „Jan bez Ziemi przeszedł tędy; mało mnie to obchodzi, skoro nigdy już tędy nie przejdzie“. To charakteryzuje jasno stanowisko fizyka i historyka. Fizyka zajmuje fakty tylko, o ile regularnie powtarzają się, o ile są objawami ogólnego prawidła; dany fakt dla niego ma tylko wtedy znaczenie, jeżeli z niego wnioskować może o istnieniu ogólniejszego prawa przyrody; sam fakt odosobniony, indywidualny, jest mu zupełnie obojętny. Historyk zachowuje się przeciwnie; jego nauka polega na możliwie dokładnem stwierdzeniu i spisaniu faktów indywidualnych, choć niema żadnego prawdopodobieństwa, żeby one się kiedykolwiek tak samo powtórzyły. Jego interesują fakty byłe, jako takie.

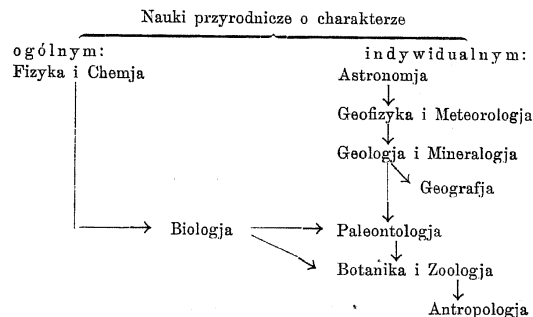
Oczywiście, że wszystkie wymienione poprzednio nauki o charakterze historyczno-przyrodniczym (astronomja, geofizyka i t. d.) nie poprzestają na jednorazowym zarejestrowaniu faktów, lecz dążą równocześnie do powiązania ich między sobą czyli wytłumaczenia, co umożliwia także przewidywanie przyszłości, a w tem wszystkie opierają się ostatecznie na fizyce. Każda z tych nauk zawiera

w sobie tyle prawidłowości, ile zawiera w sobie fizyki, gdyż ona jest właśnie nauką o prawach ogólnych. Fizyka wraz z chemią jest zatem podstawą innych nauk przyrodniczych, zajmujących się przyrodą martwą, są one zastosowaniem jej w oddzielnych przypadkach.

Rozważmy jeszcze stosunek fizyki do zjawisk przyrody żywej. Zwracaliśmy już na to uwagę, że także wielki szereg zjawisk obserwowanych w przyrodzie żywej należy bezpośrednio do omawianej już dziedziny, fizyczno-chemicznej. Są to zjawiska niezmiernego znaczenia dla procesów życiowych, jak dyfuzja, przenikanie soków roślinnych przez błony komórek, zjawiska elektryczne, zjawiska cieplne, połączone z procesami chemicznymi; wogóle procesy chemiczne, odbywające się w organizmach żyjących, które w ogromnej liczbie przypadków uznano za identyczne z procesami chemicznymi przyrody martwej. Są wprawdzie pewne procesy biologiczne, zwłaszcza z zakresu chemii białka, których nie udało się jeszcze powtórzyć w pracowni chemicznej, ale olbrzymie postępy, dokonywane na tem polu, uprawniają nas do nadziei, że i te dziś niewyjaśnione problemy w niedługim czasie zostaną rozwiązane. Pozostaje jednak cały wielki zakres zjawisk życiowych, w ścisłym znaczeniu słowa, jak rozmnażanie się komórek, rozmnażanie się osobników, dziedziczenie, zjawiska psychiczne, dla których dzisiaj jeszcze nie widzimy nawet drogi wytłumaczenia sposobem fizyczno-chemicznym. One do dziś dnia w sposób zupełnie zasadniczy oddzielają przyrodę żywą od martwej i wciąż daremnie szukamy łączącego mostu. Wspomnieć tu można np. wieczną kwestję sporną, jakim sposobem powstał pierwszy organizm żyjący.

Czy tu jest kres praw fizyczno-chemicznych i czy w tych zjawiskach występują jakieś zasadniczo nowe, odmienne czynniki, nie dające się do tamtych sprowadzić, jakaś siła życiowa lub jakieś cudowne akty twórcze? Przypuszczano to w dawniejszych czasach, ale dzisiejsi przyrodnicy, widząc, jak krok za krokiem postępuje nauka, wyjaśniając sposobem czysto fizyczno-chemicznym różne zjawiska, uważane dawniej za charakterystyczne objawy życia, przeważnie przypuszczają, że z czasem zjawiska życia wyjaśnimy jako objaw ogólnych praw fizyczno-chemicznych; wszystkie nauki przyrodnicze zredukują się zatem wreszcie do fizyki. Oczywiście, jest to rzecz dalekiej przyszłości; na razie biologia ogólna, nauka o zjawiskach życia, występuje jako dział osobny, oddzielny od fizyki, ściślełączony z naukami opisowo-przyrodniczymi tego zakresu.

Cały ten, powyżej uzasadniony, przyrodniczy pogląd na świat wyraża się w następującym schemacie nauk, uwidaczniającym ich pokrewieństwo oraz podział na nauki, zajmujące się ogólnymi prawami przyrody i nauki, zajmujące się faktami indywidualnymi.



Nie twierdzimy oczywiście, żeby jedynie taki podział był możliwy i jedynie słuszny, gdyż można także wymyśleć podziały na innej zasadzie oparte, które np. dałyby wyraz pogładowi antropocentrycznemu, ubóstwiającemu człowieka, jako króla przyrody; ale podział powyższy wyda się najracjonalniejszy przyrodnikowi, który świat zewnętrzny uważa za obiektywnie dany i nauki klasyfikuje według wzajemnej zależności ich przedmiotu. Historia rodu ludzkiego, nauki prawnicze, socjologiczne, filologia, psychologia i t. d. stanowiłyby z tego punktu widzenia drobne podziały ostatniej rubryki, antropologii.

2. Za przedmiot fizyki, w ogólnym znaczeniu słowa, uważamy zatem nie oddzielne fakty, lecz stałe zjawiska przyrody. Chodzi obecnie o określenie zadania tej nauki.

Rozważanie tej kwestji naprowadzi nas na zawile zagadnienia filozoficzne; będą one może wydawały się niejednemu sofistycznymi, pustą grą słów, ale sądzimy, że pewne oświecenie ich jest przecież konieczne, ponieważ bezpośrednio z nimi związane są nasze zapatrywania na ogólne znaczenie wyników naszej nauki, oraz na stanowisko, które ona zajmuje w naszym poglądzie na świat.

Według poglądu przyjętego, powiedzmy tradycyjnego, zadanie fizyki, jak wogóle nauk przyrodniczych, jest dwojakie: poznawanie zjawisk i ich wyjaśnianie. Poważne wątpliwości nasuwa jednak, przy bliższym zastanowieniu, już pierwsza część tego napozór niewinnego powiedzenia. Czy wogóle możemy poznać zjawiska, rzeczywiście odbywające się, czy istnieje jakiś sposób umożliwiający nam zbadanie świata rzeczywistego? Wszak cały materiał faktyczny, na którym opieramy nasze wiadomości, albo raczej pojęcia o świecie zewnętrznym, składa się wyłącznie z naszych wrażeń zmysłowych.

Dziecko już w wieku niemowlęcym przyzwyczaja się łączyć niektóre wrażenia zmysłowe, uczucia mięśniowe, bóle, pragnienie, głód i t. p. z własną osobą, z tem, co z czasem nazywa „ja“, a co później może rozdzielać będzie na „moje ciało“ i „mój świat psychiczny“, inne zaś wrażenia zmysłowe, układające się w zupełnie oddzielne łańcuchy asocjacji, łączy mimowoli w odrębną całość, z której z czasem wytwarza się pojęcie świata zewnętrznego. Granica między temi dwoma rodzajami wrażeń zmysłowych jest bardzo wyraźna i nawet człowiek zupełnie niewykształcony, zupełnie naiwny, doskonale odróżnia to, co ma związek z jego własnym ciałem, od tego, co stanowi pozornie zupełnie odrębny, od osoby człowieka niezależny świat zewnętrzny. Temu światu zewnętrznemu przypisuje istnienie samodzielne i wyobraża sobie, że on istotnie jest taki, jakim mu się przedstawia. Wierzy, że istnieje np. ciało twarde, tak zwane złoto, które jest żółte, świecące, stosunkowo ciężkie: wszak je widzi, może go dotykać, może je podnosić; wierzy, że istnieją przedmioty miękkie, zielone, o pewnych kształtach, zwane liśmami; wierzy, że istnieją przedmioty świecące, gwiazdy, słońce; wcale na myśl mu nie przychodzi, żeby to mogły być jakieś mamidła własnych jego zmysłów.

Taki pogląd nazywamy „naiwnym“ poglądem na świat; jest on poglądem większości; zdaje się, że mimo wszelkich nauk i studiów nawet największy uczony w czynnościach zwykłego codziennego życia mimowoli kieruje się przeważnie tym naiwnym poglądem, gdyż on stanowi bezpośredni wynik codziennych doświadczeń życiowych i do życia zwykłego doskonale jest przystosowany.

Przy bliższym zastanowieniu krytycznem występują wadliwości takiego poglądu. Nietylko iluzje optyczne, cieplne i t. d. ostrzegają nas przed zbyt niemiernym zaufaniem do prawdziwości naszych zmysłów;

zastanowić nas musi np. zjawisko ślepoty na barwy, występujące u niektórych ludzi, którzy wskutek tego mają odmienne pojęcie o świecie zewnętrznym, lub zjawisko, że niektórzy ludzie słyszą jeszcze tony bardzo wysokie (40.000 drgań), które na słuch innych ludzi nie robią żadnego wrażenia. Pokazuje to, że obraz „naiwny“ oczywiście zabarwiony jest barwą okularów, przez które na świat patrzymy, t. j. naszych zmysłów. Wierząc zatem w rzeczywiste istnienie jakiegoś świata, poza nami stojącego i od nas niezależnego, musimy wnioskować, że on jest zupełnie różny od owego obrazu, i staramy się z naszego poglądu na świat wyrugować wszystkie cechy „antropomorficzne“, t. j. związane z człowiekiem, staramy się uwolnić go od wszelkich pierwiastków, które zdołaliśmy rozpoznać, jako właściwość subiektywną obserwatora lub jego okularów. Domyślamy się więc: że istnieją jeszcze promienie pozafioletowe i pozaczzerwone, na które oko ludzkie wogóle nie reaguje, a których częściowo nie widzą zapewne także inne żyjące istoty; wnioskujemy, że istnieją jakieś czynniki, których rozpoznać bezpośrednio nie można żadnym zmysłem, jak np. elektryczność; wnioskujemy pośrednim sposobem o właściwościach tej elektryczności; wnioskujemy wreszcie, że to, co nazywamy promieniami światła, polega tylko na falach elektrycznych. Z różnych prawidłowości zjawisk chemicznych i fizycznych wnosimy o istnieniu atomów, z powodu małości dla oka niedostrzegalnych, nawet przy pomocy najsilniejszych mikroskopów; sądymy, że na odmiennem ich grupowaniu polega różnica ciał stałych, ciekłych i gazowych, że ich ruch jest w związku z tem, co objawia się nam jako ciepło.

Te rysy składają się wszystkie razem na „pogląd na świat człowieka wykształconego“. Taki człowiek, powiedzmy abiturjent szkoły średniej, wie dobrze, że naiwny pogląd nie odpowiada rzeczywistości, wierzy natomiast, że istnieje układ ciał niebieskich, których odległości astronomowie obliczają, że ziemia krąży około słońca, że wszelka materja składa się z atomów, które na siebie działają pewnymi siłami i t. d. Przeważnie ludzie w tem właśnie upatrują zadanie fizyki, że nauka ta przez swe badania odkrywa nam rzeczywistość, ukrytą poza uludną ograniczonością naszych zmysłów; że uczy nas, jak świat zewnętrzny rzeczywiście jest zbudowany.

Zbadanie istoty świata zewnętrznego, piękneby to było zadanie, mogłoby ono wzbudzić podziw dla nauki, która taki cel sobie stawia!

Ale jeżeli dzisiejszego uczonego w cztery oczy spytamy: czy może zaręczyć, że świat istotnie tak jest skonstruowany, jak uczy fizyka szkolna, zacznie czynić zastrzeżenia. Tylko tyle napewno będzie utrzymywał, że świat tak przedstawia się, jak gdyby pogląd człowieka wykształconego był prawdziwy. Istotnie, w ostatnich dziesiętnościach lat w nauce zapanował prąd umysłowy, który ogół zapewne nazywa sceptycyzmem, przesadnym powątpiewaniem, a który uczeni uważają za jasne zdawanie sobie sprawy z granic naszego poznawania. Przyczyniły się do tego pewne odkrycia zupełnie nieoczekiwane, promienie Röntgena i t. p., które świat naukowy przed dwudziestu laty pozbawiły pewności, że nauka w grubszych zarysach już wszystko poznała i tylko drobiazgi pozostają do wykończenia. I przyczyniły się do tego zasadnicze zmiany, które wskutek tych odkryć trzeba było wprowadzić w owym poglądzie, oraz różne wątpliwości niepokojące. Czy należy np. w to wierzyć, że eter istnieje, jak dawniej nas uczono, czy też jest to tylko bajka, jak teraz utrzymują niektórzy?

Nietylko te niedawne przewroty ostrzegają nas przed zbytnią ufnością, ale samo obiektywne zastanowienie się również wykaże, że o zewnętrznej rzeczywistości nigdy nie pewnego orzec nie możemy.

Wszak, po pierwsze, wszystko ostatecznie polega na naszych wrażeniach zmysłowych i nigdy wiedzieć nie możemy, czy wyzwoliliśmy się zupełnie z ich przypadkowych ułomności i ograniczoności. Gdyby np. istniały jakieś promienie, dla których wszelka materja byłaby zupełnie przezroczysta, nie moglibyśmy ich dostrzec żadnym sposobem, nie nie mogłoby nas doprowadzić do wniosków o ich istnieniu. Przypominamy kwestję, dawniej aktualną, czy istnieją fale podłużne eteru. Kto wie, czy ród ludzki, związany z ziemią, nie jest wskutek swej organizacji ślepy na całe dziedziny zjawisk wszechświata, jak holoturja, przyczepiona do skały na dnie morza.

Zauważymy, powtórze, że wszelkie spekulacje o właściwym mechanizmie zjawisk zawierają w sobie elementy hypotetyczne i niema zjawiska, które nie dałoby się wytłumaczyć nieskończoną ilością różnych sposobów. Wybieramy teorie, które wydają się nam najprostsze, ale nie możemy nigdy wiedzieć, czy one są prawdziwe. Skrajny sceptyk nawet powie, że myślimy przy pomocy reguł logiki ludzkiej, a nie wiemy, czy przyroda, rzeczywistość, trzyma się

tych reguł. Hertz wprowadza owo przypuszczenie w swojej mechanice jako osobną hipotezę.

Zarzuty te są niewątpliwie słuszne. Poincaré powiada: „Nie wogóle nie zdoła nas zapoznać z rzeczywistością; gdyby jakiś Bóg znał istotę rzeczy, nie znalazłby słów dla jej wyrażenia. Nietylko nie możemy odgadnąć odpowiedzi, lecz, gdyby nam jej udzielono, nie moglibyśmy jej zgłębić zrozumieć“. Podobnie niewidomemu od urodzenia nie można wytłumaczyć różnicy barw. Kto dotychczas wierzył w niewzruszoną pewność owego poglądu „wykształconego“, będzie boleśnie rozczarowany takim wykrzyknikiem „ignorabimus“. Ale czy istotnie tracimy co więcej ponad piękną mrzonkę? Jakies promienie, których nigdy spostrzec nie możemy, których wpływ nigdy nie uwydatni się w zjawiskach nam dostępnych, są nam zupełnie obojętne. Zjawiska rzeczywiście istniejące, ale dla nas na zawsze nieprzystępne i nie wpływające na nasze doświadczenia, nie obchodzą nas; nigdy ich wpływu nie dostrzeżemy. Te zaś, które wpływają na nasze doświadczenia, są dla nas, właśnie wskutek tego, choć pośrednią drogą, częściowo poznawalne.

Musimy sobie jasno z tego zdać sprawę: że nie chodzi nam wcale o poznanie istoty rzeczy, kryjącej się poza pozorami; że zadaniem fizyki jest, o ile możliwości, gruntowne i jasne poznanie świata zjawisk nam przystępnych. Chodzi o jaknajdokładniejsze zbadanie tych zjawisk oraz o powiązanie ich w całość zrozumiałą dla naszego umysłu.

Wyższość poglądu wykształconego nad naiwnym polega nie na tem, że jest prawdziwy a tamten błędny, lecz na tem, że jest bezporównania dokładniejszy i rozumialszy. Twierdzenie człowieka inteligentnego, że światło jest zjawiskiem poprzecznego falowania, ma tę wyższość nad powiedzeniem człowieka naiwnego: światłem jest to, co daje jasność, albo: co działa na nasze oko — że zawiera w sobie, samo przez się, dalsze wnioski: rozchodzenie się z pewną prędkością, zjawiska interferencji, zjawiska polaryzacji i t. d., o których człowiek naiwny nie wie i które dla niego byłyby zagadkowe, gdyby nawet o nich wiedział.

Wyżej powiedziano, że naukowy pogląd na świat nie jest prawdziwy; czy zatem nie wolno nam wem wierzyć? Jest to sprawa osobista, nie mająca nic wspólnego z fizyką, jest to rzecz wiary. Ludzie zazwyczaj nie lubią poprzestawać na powątpiewaniu, nie lubią ciągłego wysiłku umysłowego, którego wymaga myślenie kry-

tyczne; wolą opierać się na pewnej wierze w rzeczywistość. Śmieszna byłoby rzeczą wymagać, ażeby astronom wcióż w myśli sobie powtarzał: o rzeczywistym wszechświecie nie wiedzieć nie mogę, tymczasem trzymam się systematu Kopernika, gdyż jest najprostszy; żeby chemik sobie wcióż mówił: nie wiem, czy atomy istnieją; wiem tylko tyle, że wszystko tak się odbywa, jak gdyby materia rzeczywiście składała się z atomów. Z czasem mimowoli wytworzy się w nich pewna wiara w te teorie, które tak często okazywały się drogowskazem nieomylnym. Jeżeli mamy koniecznie w coś wierzyć, to oczywiście w systemat, będący ostatnim wykwi-tem nauki. Pamiętajmy tylko o jednej rzeczy: wystrzegajmy się upartego konserwatyzmu, łączącego się zwykle z taką wiarą; gdy jedna teoria okaże się wadliwą wobec postępu nauki, nie wahajmy się zastąpić ją przez inną i nie wyrzekajmy na bankructwo nauki; nauka nie każe nam wcale wierzyć w rzeczywistość swego poglądu na świat.

3. Do podobnych wniosków, jak poprzednio, dojdziemy, jeżeli będziemy rozważali zadanie fizyki pod innym względem; to nam równocześnie oświecili cały przedmiot z nowego punktu widzenia. Dotychczas zastanawialiśmy się nad jedną częścią tego, co uważaliśmy za zadanie tej nauki: nad tem, czy ona poznaje rzeczywiście właściwą istotę zjawisk przyrody; obecnie zajmijmy się krytyczną analizą drugiej części zadania fizyki: objaśniania tych zjawisk.

Jeżeli chodzi o tłumaczenie czynności ludzkich albo i zwierzęcych, objaśniamy je zazwyczaj najlepiej, wskazując cel, w którym zostały podjęte. Podobnie też w starożytności, a zwłaszcza w wiekach średnich, usiłowano nieraz tłumaczyć zjawiska przyrody na podstawie celowości; posuwano się w naiwności tak daleko, że upatrywano w różnych zjawiskach przyrody urządzenia ustanowione celowo dla pożytku ludzkości. Dzisiaj żaden przyrodnik nie uznaje celowości w przyrodzie, ponieważ nie można przyrody personifikować, jak gdyby istoty myślącej i planującej. Celowość byłaby zrozumiała tylko z punktu widzenia tych, którzy przyjmują hipotezę, że przyroda została stworzona przez istotę inteligentną, z planem i celem z góry ułożonym. W przyrodzie martwej śladów celowości nie dostrzegamy, a w zakresie przyrody żywej nauczyliśmy się od Darwina obywać się bez tego pojęcia. Jego wielką zasługą jest

wykazanie na przykładach jaskrawych, jak urządzenia pozornie celowe powstają jako naturalny wynik przyczyn naturalnych, nieosobistych (np. walka o byt, dobór naturalny, dziedziczność), którym żadnego dążenia ku celowi z góry ułożonemu przypisać nie można. To też stawianie pytań takich jak: po co istnieje człowiek? w jakim celu istnieje Ziemia? i t. p. wydaje się przyrodnikowi zupełnie bezsensowne. Sposób objaśniania przy pomocy pojęcia celowości jest dzisiaj usunięty z nauk przyrodniczych, jako naiwny antropomorfizm.

W jaki zatem sposób objaśniamy zjawiska przyrody? Jeżeli jakieś zdarzenie zwróci naszą uwagę, pragniemy mimowoli zrozumieć, dlaczego ono się stało; szukanie przyczyny tego zdarzenia jest pierwszym szczeblem, służącym do jego objaśnienia. Spostreżamy np., że lampka elektryczna, która świeciła spokojnie, nagle zgasła. Zjawisko dla nas niezrozumiałe. Objaśnia nam je monter zakładu elektrycznego, wskazując przyczynę zgaśnięcia lampki: stopka przepaliła się. Wyjaśnienie zupełne wymaga jeszcze objaśnienia tej przyczyny, czyli wyszukania dalszych przyczyn. Stopka przepaliła się, gdyż druty w jednym miejscu były źle izolowane i przy zamknięciu drzwi powstało krótkie spięcie.

Zdarzenie uważamy za wyjaśnione, jeżeli je tym sposobem sprowadziliśmy do przyczyn takich, których sposób działania jest nam dostatecznie znany i dlatego wydaje się nam zrozumiały. Takie tłumaczenie przyczynowe jest to sposób objaśniania nie tylko normalny w życiu codziennym, ale typowy dla nauk przyrodniczych, jakoteż i historycznych. Opiera się ono na t. zw. prawie przyczynowości, będącem wynikiem przeświadczenia, którego nabywamy nieświadomie, wskutek całego naszego doświadczenia życiowego. Prawo to, które ma zatem charakter niemal instynktowny, twierdzi: 1) że każde zdarzenie ma swoją przyczynę 2) że jednakowe przyczyny wywierają skutki jednakowe. Jeżeli jednak zastanowimy się nad pojęciem przyczyny, musimy przyznać, że tkwią w niem (tak samo jak w pojęciu celowości) pewne pierwiastki antropomorficzne, przeniesione z zakresu psychiki ludzkiej do zewnętrznego świata martwego. Wymieniając przyczyny pewnego zjawiska, mimowoli podsuwamy przyrodzie pobudki i wyprowadzamy z nich umotywowane działanie: zniżka barometryczna była przyczyną deszczu; deszcz był przyczyną, że nie poszedłem na spacer. Stąd po-

chodzą dążności, w nowszych czasach coraz silniej występujące, wyrugowania także słowa „przyczyna“ z obrębu nauk ścisłych.

Wiadomo, że blisko dwieście lat temu angielski filozof Dawid Hume, poddając pojęcie przyczyny analizie krytycznej, doszedł do wniosku, że w przyrodzie nie dostrzegamy nigdy przyczyn, że możemy stwierdzić zawsze tylko stałe następstwo zjawisk. Istotnie, czy widzimy, że potarcie zapalki jest przyczyną jej zapalenia? Nie; jedynie tyle powiedzieć można, że konstatujemy fakt regularnego następstwa: potarcie — zapalenie. W jakimś innym przykładzie, podobnie, nigdy nie ponad fakt regularnego następstwa stwierdzić nie zdołamy. Przyczynowości tylko domyślamy się.

Uwaga niewątpliwie słuszna i nie tak błaha, jak napozór może wydać się niejednemu. Konsekwencje z niej wyciągnął Kirchhoff, wypowiadając w przedmowie do swej mechaniki (r. 1876), że zadaniem fizyki nie jest badanie przyczyn zjawisk; zadaniem jej jest opisywanie zjawiska fizycznego w sposób najprostsz. To powiedzenie Kirchhoffa z jednej strony znalazło żywy poklask, z drugiej było zwalczane z największą zaciętością. Gdyby zadaniem fizyki było tylko opisywanie, nie różniłaby się ona (tak mówiono) od opisowych nauk przyrodniczych, np. od systematyki zoologicznej?

Starajmy się zrozumieć na przykładach, jak Kirchhoff pojmował *opisywanie*. Wiadomo, że Keppler ujął prawa ruchu planet w trzy prawa nazwane jego imieniem: 1) planety krążą po elipsach około słońca jako ogniska 2) promień wodzący, poprowadzony od słońca ku planecie, zatacza w jednakowych czasach jednakowe pola 3) kwadraty czasu obiegu różnych planet są w stosunku trzeciej potęg ich średnich odległości od słońca. Wiadomo, że Newton wnioskowaniem matematycznym na podstawie tych praw doszedł do wyniku: „siła, która kieruje ruchem planet, jest proporcjonalna do mas, odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości“; krótko nazywamy ją: siłą grawitacji. Z drugiej strony, z prawa grawitacji Newtona wyprowadzić można prawa Kepplera jako konieczną konsekwencję. Zapytujemy za Kirchhoffem: jeżeli Newton na podstawie ruchu planet doszedł do wniosku o istnieniu siły grawitacyjnej, czy znaczy to, że siła grawitacji jest przyczyną ruchu planet? Czy wogóle twierdzenie o istnieniu grawitacji objaśnia te zjawiska? Grawitacja nie jest rzeczą z góry nam znaną; mówiąc, że istnieje siła grawitacji między dwoma ciałami, stwierdzamy tylko,

że istnieje pewne przyspieszenie ich ruchu względnego. Prawa Kepplera a prawo grawitacji Newtona są to zatem ujęcia tych samych obserwacji w dwie, formalnie różne, choć rzeczowo równoważne formy, nie podające nam jednak istotnego wytłumaczenia zjawiska. Przypomina to lekarza z „Le Malade Imaginaire“ Molière'a, który tłumaczy, czemu człowiek zasypia pod wpływem opium: „gdyż opium posiada siłę usypiającą“. Z tych dwóch równoważnych form konstatowania tej samej rzeczy, czyli form opisu w znaczeniu Kirchhoffa, drugi, sposób Newtona, jest znacznie prostszy i zwieźlejszy, ponieważ w jednym powiedzeniu, ujętem w prostą formułę matematyczną, obejmuje trzy powiedzenia Kepplera; oprócz tego wykazuje wyraźnie powszechność prawideł ruchu oraz łączność ich ze zjawiskami ciężkości na ziemi.

Dzisiaj porzucamy wogóle definicję: siła jest to przyczyna ruchu, albo raczej: przyczyna zmiany ruchu (przyspieszenia). Jest to powiedzenie bez treści; według Macha powiadamy: siła jest to iloczyn z masy i przyspieszenia. Gdy z pojęcia siły usuniemy myśl uboczną, asocjacje pewnego dążenia, działania, która jest oczywiście elementem antropomorficznym, obcym przyrodzie martwej, to, powiadając, że istnieje siła powszechnej grawitacji, konstatujemy tylko regularne istnienie pewnej właściwości wzajemnych ruchów wszystkich ciał. Podobnie, podając powinowactwo chemiczne lub energję chemiczną za przyczynę pewnej reakcji chemicznej, niczego nie tłumaczymy; tę samą rzecz opisujemy innemi słowami, podkreślając przymtem regularność i ogólność zjawiska. Ogólnie biorąc zatem, zadaniem ostatecznem fizyki jest znalezienie formy opisu, o ile możliwości prostej i zwieźlejszej, całokształtu zjawisk fizycznych.

Stanowisku Kirchhoffa musimy przyznać słuszność, oczywiście z zastrzeżeniem, że słowo *opis* rozumiemy nie tylko jako opis bezpośredni oddzielnych wypadków, lecz także w znaczeniu rozszerzonym, jako opis pośredni, ujmujący je wszystkie w jedno правило ogólne, równoważne z niemi nie co do formy, lecz co do treści wewnętrznej.

W nieco odmienny sposób określa Mach zadanie fizyki. Mach także najenergiczniej występuje przeciwko wprowadzaniu do fizyki pojęcia przyczyny i wogóle jakiegobądź pierwiastków antropomorficznych. Uczony ten tłumaczy istotę nauki jako objaw dążenia do ekonomji myślenia i za jej cel uważa ułatwienie objęcia myślowego całej mnogości poszczególnych faktów za pomocą jednej prostej

formuły. Zadaniem fizyki zatem jest podług niego znalezienie związków funkcyjnych między zjawiskami fizycznymi. Treść każdego prawa fizyki da się wypowiedzieć w formie równania matematycznego, a takie równanie wyraża zawsze istnienie pewnego związku między wielkościami, wchodzącymi do równania. Żądając znalezienia tych związków funkcyjnych, ujmujemy istotnie zadanie fizyki w formę o ile możności ogólną. Trzy prawa Keplera wyrażają się przez trzy równania matematyczne, określające związek między czasem a spólrzdnymi miejsca planet i ich prędkościami. Podobnie prawo grawitacji podaje związek między przyspieszeniem, doznawanym przez ciało niebieskie a masami i odległościami innych ciał. Ostatecznym ideałem nauki byłoby znalezienie funkcji, która określałaby zależność jakiejkolwiek bądź wielkości fizycznej od wszystkich czynników na nią wpływających. Na takie postawienie kwestii można się zgodzić, z zastrzeżeniem jednak, że wyrażenie „związek funkcyjny” będziemy rozumieli w znaczeniu nieco szerszym, nie ograniczając się do związków, dających się w prosty sposób sformułować matematycznie. Takie związki można bowiem wyrazić nie tylko wzorem matematycznym; odpowiedniejsze może być niekiedy przedstawienie geometryczne, albo przedstawienie przy pomocy jakiegoś mechanizmu, o czym jeszcze będzie mowa później przy sposobności rozważania zapatrywań Boltzmanna.

Weźmy jako przykład powiedzenie lorda Kelvina, że atomy zachowują się, jak gdyby były pierścieniami wirowymi cieczy nieścisłej, nakształt kółek dymu, które wpadnię palące potrafią puszczać; nie zastanawiamy się zresztą wcale nad kwestią, czy to porównanie było słuszne. Zawiera ono w sobie, w zwięzłej, prostej formie, najrozsądniejsze związki między ruchami, objawami wzajemnego przyciągania i t. d., o takiej komplikacji matematycznej, że nie zdołano ich jeszcze wyrazić w formie rachunkowej; początek dała praca J. J. Thomsona o pierścieniach wirowych. Ten sam zresztą związek wyrazić możemy zwykłe różnymi sposobami; z pomiędzy nich wybieramy wówczas sformułowanie o ile możności najprostsze. Widzimy, że zasadnicza myśl Macha okazuje się identyczna ze zdaniem Kirchhoffa; wyraz *opis* jest zastąpiony u Macha przez *związek funkcyjny*.

Jakże wobec tych dwóch reprezentantów trzeźwego przedstawienia faktycznego zachowywali się zwolennicy tłumaczenia przyczynowego? Starano się przedewszystkiem oczyścić pojęcie przyczyny

z grubo antropomorficznych przymieszek; sformułowano definicję: gdy jedno zjawisko *A* jest przyczyną drugiego *B*, znaczy to tylko tyle, że po zjawisku *A* koniecznie musi nastąpić zjawisko *B*. Tu już niema mowy o działaniu, pozostało tylko następstwo stałe i konieczne. Cóż jednak oznacza *konieczność*? To, że inaczej być nie może. Takiemu pojęciu przyczynowemu w przyrodzie przeciwstawić znów można wspomniane rozważania Hume'a, wykazujące, że niema sposobu stwierdzenia konieczności w zjawiskach przyrody, że stwierdzamy tylko regularność, czyli stałe następstwo. Konieczności możemy się domyślać, jeżeli nam się podoba; albo możemy się też ograniczyć do skonstatowania stałego związku. Wszystko jedno, czy powiemy: „tarcie zawsze wywołuje ciepło”, czy też powiemy: „tarcie musi koniecznie wywoływać zawsze ciepło”. Różnica będzie może pod względem logicznym interesująca, ale dla przyrodnika obojętna. Sądzę, że w pojęciu konieczności są zawarte pewne skojarzenia ludzkie: nieuniknionego przymusu, daremnego usiłowania wywołania przeciwnego zjawiska. To są oczywiście domieszki, obce przyrodzie martwej; jeżeli je usuniemy, czy pozostanie coś innego, prócz związku stałego? Nie sądzą.

Matematyk francuski Painlevé wyraża prawo przyczynowości mniej więcej w tej formie: „wobec tych samych warunków (przyczyn) powstają zawsze i wszędzie te same zjawiska (skutki)”. W jego twierdzeniu niema mowy o konieczności, przyczynowość już nie innego nie oznacza, jak tylko regularność, prawidłowość zjawisk przyrody. To jest istotny fundament, na którym opiera się nie tylko fizyka, lecz wszystkie nauki przyrodnicze. Ludy dzikie, nie mogąc dopatrzeć się prawidłowości w niektórych objawach przyrody, wierzą, że wynikają one z kaprysów, z zachcianek duchów i bożków. W miarę postępu kultury, zakres działania tych bożków stale maleje, zakres zaś zjawisk poznanych rośnie. Doszliliśmy dzisiaj do tego, że uważamy przyrodę za mechanizm nieosobowy, postępujący stale według prawideł wiecznych, powszechnych, niezmiennych. Cuda i kaprysy są usunięte. Takie zatem jest istotne znaczenie prawa przyczynowości w przyrodzie, które pozostało po krytycznym rozbiórce. Jeżeli używamy słowa „przyczyna” wyłącznie w sensie tak określonym, do oznaczenia regularnego następstwa, z punktu widzenia Kirchhoffa i Macha nie temu zarzucić nie można, gdyż tłumaczenie przyczynowe oznacza wówczas tylko stwierdzenie regularnego związku zjawisk.

Pokazuje się tutaj, jak zwykle w tego rodzaju dyskusjach, że spór powstał z niejasnego określenia słów i że w gruncie rzeczy zapatrywania na zadanie fizyki, pozornie rozbieżne, w istocie rzeczy mało się różnią. Rozpatrzenie tych kwestyj nie jest jednak zbyteczne, gdyż historia nauki uczy, że niezrozumienie i nadużywanie tych haseł nieraz pociągało za sobą dalekie konsekwencje.

Do kwestji, który ze wspomnianych sposobów wyśłowienia jest najodpowiedniejszy, dorzucimy jeszcze kilka uwag. Uznajemy zasadę przyczynowości, oczyszczoną z domieszek niejasnych, ludzkich i metafizycznych, za kwintesencję wszelkich doświadczeń i obserwacji, które wszystkie stwierdzają niezmienną prawidłowość przyrody. Słuszność przyznajemy także tym, którzy przejęcie się zasadą przyczynowości w tej formie uważają za kardynalny warunek myślenia przyrodniczego i upatrują w tem wysoką wartość wychowawczą fizyki, oraz innych nauk przyrodniczych, że wpajają one tę zasadę w umysł dziecięcy.

Pomimo to, używanie wyrazu „przyczyna” jest w fizyce naukowej wskazane w bardzo ograniczonym zakresie, z następujących powodów. Po pierwsze, w zjawiskach zasadniczych, do których sprowadzamy wszystkie zdarzenia szczególne, występują zazwyczaj nie przyczyny pojedyncze, lecz całe kompleksy przyczynowe, których żaden składnik nie wyróżnia się zasadniczo z pośród innych; stąd pochodzi niejasność, co mamy uważać za przyczynę właściwą. Jeżeli np. obserwujemy pozycję planety Saturna dzisiaj i za rok, konstatujemy zmianę i pytamy, jaka jest przyczyna tej zmiany. Na zmianę tę wpłynęły: prędkość, którą Saturn dzisiaj posiada, oraz wszystkie czynniki, które zmieniają ją, wywierając siłę grawitacyjną, t. j. Słońce, wszystkie inne planety, przedewszystkiem Jowisz, potem Uranus, Neptun, Mars, Ziemia i t. d. W tym przypadku poradzimy sobie, pomijając przyczyny „uboczne”, sprowadzając stosunkowo mniejszy skutek. Ale jeżeli chodzi np. o zmianę siły elektrycznej w danym punkcie przestrzeni (fale elektryczne), wiemy, że jest ona wynikiem rozkładu sił elektrycznych, który dawniej panował w całej przestrzeni, otaczającej ten punkt; wszystkie części tej przestrzeni, równie odległe, muszą być uważane za równie uprawnione źródła owej zmiany. Mamy więc w tym przypadku nieskończoną liczbę przyczyn nieskończenie małych.

Czy nie lepiej usunąć wogóle słowo „przyczyna” i ograniczyć się do konstatowania zależności danego zjawiska od pewnych wa-

runków? Będzie to opis prawidłowości zupełnie jasny i wystarczający.

Łączy się z tem druga uwaga: że przyczyna musi zawsze poprzedzać skutek, zatem pojęcia te nie dają się stosować do zjawisk równoczesnych, ani też do zjawisk, połączonych ze sobą związkiem odwracalnym. Każda fala elektryczna wywołuje falę magnetyczną; naodwrot każda fala magnetyczna wywołuje falę elektryczną. Każde z tych zjawisk można równie dobrze uważać za przyczynę jak za skutek. Czyż nie racjonalniej skonstatować poprostu, że te zjawiska zawsze są połączone, że zawsze występują wspólnie i równocześnie.

Równania matematyczne, określające zjawiska mechaniki i elektryczności, są przeważnie odwracalne w tem znaczeniu, że stan poprzedzający da się wyrazić jako funkcja stanu późniejszego. Wobec tego jedynym racjonalnym sposobem badania jest stwierdzanie związku funkcjonalnego tych wielkości z porzuceniem wyrazu „przyczyna”, który w niczem sprawy nie wyjaśnia.

W miarę coraz doskonalszego wyrobienia naukowego, przekonujemy się, że fizyka postępuje w swoim rozwoju tak, że przedewszystkiem bada przebieg zjawisk, nie zaś ich przyczyny. Właściwy sposób pytania fizycznego jest: „jak?” a nie „dlaczego?”. To drugie pytanie staje się zbyteczne, gdy na pierwsze potrafimy odpowiedzieć. To też można przestudjować obszernie dzieła z zakresu fizyki teoretycznej, nie spotykając ani razu użycia wyrazu „przyczyna”.

Oczywiście jednak są inne dziedziny, gdzie pojęcie to znajduje szerokie pole zastosowania. Opis bezpośredni albo pośredni, w znaczeniu Kirchhoffa, posługuje się przedewszystkiem językiem matematycznym; wykazanie związków funkcjonalnych według Macha da się również stosować z powodzeniem jedynie w obrębie nauk ścisłych, przedewszystkiem w fizyce matematycznej. Przy wykonywaniu doświadczeń fizycznych oraz w naukach przyrodniczych w szerszem znaczeniu, zwłaszcza w biologji, gdzie dzisiaj jeszcze nie może być mowy o opisywaniu matematycznym, tak samo jak w praktyce życia codziennego, najlepiej objaśniamy zjawiska przez podawanie ich przyczyn. Zwłaszcza, że tam najwybitniej występuje, jako charakterystyczna cecha zjawisk: ich nieodwracalności i że wskutek tego prawie nigdy niema wątpliwości, co należy uważać za zjawisko pierwotne, co za wtórne.

Powróćmy raz jeszcze do określenia zadania fizyki przez Kirchhoffa i Macha, by dorzucić następujące uwagi. Zdaje mi się, że

Mach za mały kładzie nacisk na możliwe uproszczenie związków funkcjonalnych, co jest przecież rzeczą pierwszorzędno znaczącą. Określenie zaś Kirchhoffa będzie źródłem wiecznych nieporozumień, wskutek tego, że wyrażenie „opis“ w potocznym języku oznacza tylko skonstatowanie znamion pewnego przedmiotu bezpośrednio w oczy wpadających. Uwydatnia się to także w terminologii powszechnie stosowanej, która naukom ścisłym, używającym spekulacji matematycznych (jak fizyka, chemia, astronomia), przeciwstawia opisowe nauki przyrodnicze (biologiczne). Ze względu na te uwagi może najlepiej określić zadanie fizyki w następujący sposób: zadaniem fizyki jest badanie prawidłowości, występujących w przyrodzie, oraz systematyczne przedstawianie ich w sposób, o ile możliwości, zwizyły i prosty.

4. W jakim celu jednak podejmuje się tego zadania? Cel naszej nauki, jak zapewne też każdej innej, jest dwójaki: idealny i praktyczny. Wrodzone pragnienie wiedzy, chęć poznania tajemnic przyrody, bez względu na korzyści praktyczne, zapewne były zawsze główną sprężyną badań na tem polu. Wprawdzie istnieją ludzie, zupełnie obojętni na urok czysto naukowych badań przyrodniczych: „czyż warto zajmować się badaniem ruchów gwiazd, może nawet niewidzialnych gołym okiem, lub spekulacjami nad strukturą atomów, wszak to na nic się nie przyda“. Ale na szczęście istnieją także dziwacy, głoszący hasło: „nauka dla nauki!“ i waleczący w imię „nauki nieużytecznej“.

Tacy dziwacy, przejęci bezinteresownym entuzjazmem, tacy mężowie jak Kopernik, Galileusz, Newton, Faraday, Robert Mayer, Maxwell byli zawsze pierwszymi pionierami postępu; im przedewszystkiem zawdzięczamy osiągnięcie dzisiejszego poziomu nauki i kultury. Każda nauka potrafi zapewne wzbudzić zainteresowanie a nawet prawdziwy zapal w człowieku typu intelektualnego; ale fizyka, jako nauka o podstawowych prawach przyrody, wysuwa się na jedno z naczelných miejsc i zajmuje szczególnie umysły, które łączą zamiłowanie przyrody ze zdolnością do ścisłego krytycznego myślenia, zwłaszcza z pewną skłonnością systematyczno-konstrukcyjną.

August Comte powiada, że celem nauki jest przewidywanie przyszłości. To określenie jest może za ciasne, wszak istnieją nauki,

zajmujące się wyłącznie przeszłością i nie mające pretensji do przepowiadania. Ale z pewnością fizyka, wraz z astronomją i chemją, przed wszystkimi innymi odznacza się tem, że pozwala nam przewidywać zjawiska. Wnioskowanie o przeszłości wchodzi także w jej zakres; ale potrafi ona przewidywać z większą łatwością przyszłość niż odgadywać przeszłość, z powodu tak zwanych zjawisk nieodwracalnych. To jest także jedna z właściwości nauk fizycznych, która nadaje im szczególny powab.

Podnieść należy jeszcze wysoką wartość wychowawczą fizyki, jako szkoły myślenia i szkoły charakteru. Chodzi tu przede wszystkim o obiektywne konstatowanie faktów, bez względu na to, czy potwierdzają nasze przypuszczenia, czy też nie; wyrobić to musi pewien zmysł obiektywnej sprawiedliwości i prawości, przyzwyczajają do ostrożnego wydawania sądu, kształci niemal fanatyzm prawdy. Fizyka między innymi naukami przyrodniczymi zajmuje miejsce o tyle wyjątkowe, że jej materiał jest możliwie najprostszy, a sposób rozumowania możliwie najściślejszy. Matematyka operuje wyłącznie pojęciami oderwanymi; jest ona doskonałą szkołą myślenia, ale tylko w zakresie abstrakcyjnej logiki formalistycznej, nie zaś w zastosowaniu do świata zewnętrznego. Dlatego też fizyka jest nadzwyczaj cenną szkołą dla wyrobienia umysłowego; metoda jej stała się przykładem dla wszelkich innych nauk przyrodniczych, po części także i humanistycznych.

Badaniom fizycznym wraz z astronomją zawdzięczamy głównie wyrobienie się przeświadczenia o niezmienniej prawidłowości, która tu najjaśniej występuje, wyrugowanie z nauki fetysyzmu, zabobonów i cudów. Ścisłość matematyczna praw zasadniczych astronomji i mechaniki, możliwość bezwzględnie pewnego przepowiadania zjawisk na odległą metę najwięcej przyczyniły się do tego, że prawa przyrody uznano za bezwzględnie ścisłe i niezmiennie. Dla innych nauk przyrodniczych fizyka ma zatem pierwszorzędne znaczenie jako nauka pomocnicza; ponieważ 1) uczy nas praw podstawowych, na których ostatecznie muszą opierać się wszystkie inne zjawiska 2) daje innym naukom przykład stosowania metod ścisłych badania 3) daje im środki pomocnicze do wykonywania badań, jak mikroskopy, galwanometery i t. p.

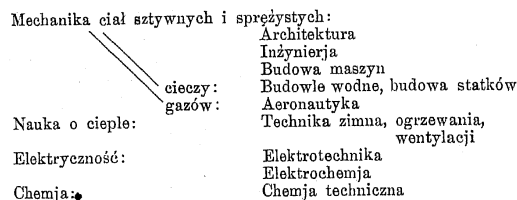
Podnieść wypada jeszcze doniosłość fizyki, jako podstawowej nauki dla fizjologii człowieka i z nią związanej medycyny; ucho, oko i t. p. są to narzędzia fizyczne. Odwrotnie znów, fizjologiczne

badania narzędzi zmysłowych objaśniają powstawanie wrażeń zmysłowych, na których ostatecznie opiera się cała fizyka i wszelkie wnioskowanie o świecie zewnętrznym.

Jeżeli mowa o praktycznych celach fizyki, to rzecz jasna, że jej przedewszystkiem zawdzięcza człowiek ujarzmienie sił przyrody, na niej opiera się cała dzisiejsza nasza technika; ona, jak żadna inna nauka, wpłynęła na ukształtowanie naszego życia codziennego. Kto, pracując w zawodzie technicznym, nie zadawalnia się rutyną rzemieślniczą, ale pragnie wynajdywać własne drogi postępu, ten nigdy żałować nie będzie czasu i trudu poświęconego gruntownemu wyćwiczeniu się w fizyce. W wielu dzisiejszych szkołach politechnicznych za mało zwraca się uwagi na ten przedmiot. Mechanika oczywiście od dawien dawna jest uważana za fundament nauk technicznych, ale inne działy fizyki są często traktowane o wiele pobieżniej. A wiadomo, jak z pozornie nieużytecznych badań naukowych wyrosły się najdonioślejsze wynalazki; przykładów tego rodzaju dostarcza historia nauki na każdym kroku, zwłaszcza dzieje nauki o elektryczności w związku z elektrotechniką są tego najwymowniejszym przykładem.

Wogóle nauka temu najpiękniejszemu przynosi owoce, kto poświęca się jej całą duszą i kto umie przejąć się głęboko jej problematami. Dlatego radzimy tym, którym okoliczności nie pozwalają oddać się jej całkowicie, żeby nauką zajmowali się choćby krótko, ale intensywnie i bez względów ubocznych; krótkowzroczny utylitaryzm okazuje się na tem polu dziwnie bezowocny.

Ogólnikowy pogląd na związek różnych działów fizyki z praktycznym ich zastosowaniem w technice daje schemat następujący:



Pewna ogólnikowa znajomość kierunków techniki nowoczesnej oraz zrozumienie jej podstaw naukowych są oczywiście niezbędne dzisiaj dla każdego człowieka wykształconego, pragnącego zorientować się

w praktyce życia; z tego punktu widzenia czysto praktyczna wartość fizyki jest tak oczywista, że zbyteczne byłoby szczegółowe roztrząsanie tej sprawy. Niestety i dzisiaj jeszcze spotykamy dość ludzi t. zw. „wykształconych“, którzy na otaczające ich w wielkim mieście udogodnienia techniczne patrzą z takim zrozumieniem, jak murzyn z głębi Afryki, przeniesiony do Europy, z tą różnicą, że murzyn dziwi się jeszcze, a oni stracili już zdolność dziwienia się i podziwiania. Są to wyniki jednostronnego wykształcenia filologiczno-literacko-historycznego, jakie u nas jeszcze panuje.

5. Ponieważ przedmiotem fizyki są zjawiska otaczającego nas świata albo, ściślej mówiąc, wrażenia nasze o nim, o których *a priori* nie mamy żadnej intuicyjnej świadomości, jest rzeczą jasną, że zasadniczą metodą badania musi być tu metoda indukcyjna, charakterystyczna także dla innych nauk przyrodniczych: polegająca na zbieraniu materiału doświadczalnego, na klasyfikowaniu tego materiału i abstrahowaniu z niego prawideł ogólnych. Filozofowie starożytni, a zwłaszcza średniowieczni, mniemali przeciwnie, iż prawa zjawisk fizycznych można poznać, stosując metodę dedukcyjną: wychodzili z pewnego twierdzenia ogólnego, zasadniczego, co do istoty świata, które wydawało im się oczywiste, a które my dzisiaj uważamy zazwyczaj za śmieszny przesąd; zapomocą wnioskowania logiczno-dedukcyjnego wyprowadzali wnioski o różnych zjawiskach przyrody. Nie zrażali się nawet tem, że naturalnie każdy filozof, zależnie od swego punktu wyjścia, dochodził do odmiennych wniosków. Jak długo utrzymywały się przesady tego rodzaju, wskazuje np. historia astronomii. Uczonym tym wydawało się rzeczą oczywistą, że planety muszą poruszać się po kołach, bo to jest krzywa „najdoskonalsza“. Instynktowne poczucie wydawało niekiedy dobre rezultaty; tak np. zasady statyki wyprowadził Archimedes, a później Stevinus, na podstawie wcale nieoczywistej.

Nie możemy dzisiaj wcale pojąć wstrętu Greków i uczonych scholastyków do doświadczeń, owego pociągu do bezpodstawnych spekulacji i stosowania ich w naukach przyrodniczych. Prąd ten wydaje się nam niejako obłędem, hamującym rozwój tych nauk, zwłaszcza wskutek powagi Arystotelesa, przez cały przeciąg starożytności i średniowiecza; dopiero Bacon (1561—1626) nas uwolnił od niego przez jasne uznanie doświadczenia za podstawę

badan i przez wyraźne sformułowanie zasad metody indukcyjnej.

Nie znaczy to oczywiście, żeby nikt przed Baconem nie stosował indukcji; każdy człowiek w codziennym życiu stosuje ją mimowoli i bezwiednie, gdy na podstawie doświadczeń wyrabia sobie pewien pogląd. Już np. Ptolemeusz badał systematycznie związek kąta załamania promieni światła z kątem padania; niektóre późniejsze badania Galileusza i innych okazują typowe cechy indukcji. Ujęcie zasad indukcji przez Bacona było nawet pod wielu względami wadliwe, gdyż Bacon pojmował indukcję jako czynność zbyt mechaniczną, odbywającą się bez wszelkiego udziału spekulacyjnego rozumu. Mimo to, historyczne znaczenie jego wystąpienia było ogromne; odtąd dopiero stopniowo musiało ustępować bezpodstawne, fantastyczne spekulowanie przed badaniami doświadczalnymi, empirycznymi.

Typowych przykładów indukcji nastręcza historia fizyki bez końca. Charakterystyczne jest np. poznanie praw grawitacji. Duński astronom Tycho Brahe, który nie uznawał systematu Kopernika, gromadził surowy materiał empiryczny, wykonując wielką liczbę dokładnych pomiarów pozycji planet. Kepller poznaje prawidłowości, ukryte w tych danych; ujmuje te wyniki w trzy prawa, o których poprzednio już była mowa. Newton przez analizę matematyczną tych reguł empirycznych dochodzi do sformułowania prawa grawitacji. Poznaje dalej, że ciążenie ciał ku środkowi ziemi jest jedynie szczególnym przypadkiem tego prawa; następnie badania ruchów komet, ruchów gwiazd podwójnych, utwierdzają je i rozszerzają zakres jego ważności na obszar całego naszego świata. Pewna liczba oddzielnych faktów doświadczalnych jest dana; wyprowadzamy z nich regułę ogólną; wnioskujemy o zasadniczym prawie podstawowym, które obejmuje nie tylko owe fakty oddzielne, lecz całą mnogość zjawisk dalszych.

Inny przykład daje historia rozwoju wiadomości naszych o załamaniu światła. Już Ptolemeusz stara się znaleźć prawo, podające kąt załamania w zależności od kąta padania; wykonywa pomiary, stosunkowo nawet dosyć dokładne, ale nie potrafi znaleźć prawidł matematycznego, łączącego te dwie wielkości. Dopiero Snellius znajduje, że zależność ta ma postać:

$$\sin \alpha = n \sin \beta$$

gdzie n jest współczynnikiem stałym dla danych ciał. Z czasem poznano,

że współczynnik ten dla różnych barw światła jest różny, co powoduje rozszczepianie promieni przechodzących przez pryzmat: Marcus 1648, Grimaldi 1665, Newton 1704. Niezliczone obserwacje wskazywały, że rozszczepienie to dla różnych substancji jest różne, jednak zawsze takie, że niebieska część widma jest bardziej odchylona niż czerwona. Aż wreszcie w r. 1862 Le Roux odkrywa pierwszy przypadek „dyspersji anomalnej”. Para jodu odchyła przeciwnie: barwę czerwoną bardziej niż niebieską. Badania Christiansena i Kundta stwierdziły, że taki przypadek odwrotnego porządku barw zachodzi zawsze w ośrodkach wyraźnie zabarwionych (jak para jodu, fuksyna, chlorofil) i udowodniły ten ścisły związek dyspersji anomalnej z barwą ośrodka, czyli z zachodzącą w nim absorpcją światła. Ów związek tworzy przedmiot badań teoretycznych Sellmeiera, Helmholtza i Drudego. Badania te wytłumaczyły wreszcie sprawę w ten sposób: chodzi tu o zjawisko, w którym uwidatnia się wpływ drgań własnych elektronów zawartych w ciele przezroczystym. Równocześnie wynikły z tych rozważań wzory teoretyczne, które istotnie wyrażają w najdoskonalszy sposób zależność współczynnika załamania od barwy światła i od indywidualnej natury danego ciała. Widzimy tu cechy charakterystyczne metody indukcyjnej: nauka wychodzi z surowego materiału empirycznego, abstrahuje zeń ogólne prawo, modyfikuje i uzupełnia to prawo, w miarę jak dokładność obserwacji wzrasta i nowe fakty przybywają, aż ono otrzymuje formę najściślejszą i najogólniejszą.

Najbardziej zajmujący przykład indukcji dają zasady termodynamiki. Czy z punktu widzenia logiki można usprawiedliwić stanowisko Akademii Paryskiej, która w r. 1775 postanowiła nie przyjmować prac, odnoszących się do projektu *perpetuum mobile* gdyż zgóry uważała możliwość takiego wynalazku za wykluczoną? Na jakiej podstawie tak sądziła? Z tej jedynie przyczyny, że, mimo najusilniejszych starań nie udało się nikomu rozwiązać zadania. Postępowała ona nie według zasad logiki dedukcyjnej, lecz w myśl zasad indukcji, i do dziś dnia przyznajemy jej słuszność. Twierdzenie o niemożliwości *perpetuum mobile* stało się z czasem podstawą całej termodynamiki, nabrało znaczenia zasadniczego prawa przyrody, w oczach wielu uczonych stało się niemal dogmatem nienaruszalnym. Co prawda, ufność nasza dzisiaj nie opiera się już na daremnych usiłowaniach niedoszłych wynalazców *perpetuum mobile*,

lecz na tem, że sprawdziły się najrozmaitsze wnioski, we wszystkich dziedzinach fizyki i chemji, wyprowadzone w ciągu ostatnich 50 lat z założenia niemożliwości *perpetuum mobile*.

Myli się jednak zupełnie, kto sądzi, że fizyka posługuje się wyłącznie metodą indukcyjną. Równie wielkie, a może nawet obszerniejsze zastosowanie znajduje też dedukcja; nadaje to fizyce charakter odrębny w stosunku do nauk przyrodniczych, tak zwanych opisowych, w których rola dedukcji jest zgoła drugorzędna. Lecz dedukcja w fizyce ma znaczenie całkiem odmienne niż np. w matematyce. W matematyce zasadnicze twierdzenia nauki są oczywiste i pewne; na nich budujemy wnioski, z zaufaniem w trwałość podstaw. W fizyce, przeciwnie, zasadnicze prawa są właśnie tem niewiadomem, czego szukamy; co do nich czynimy tylko założenia warunkowe, przyjmujemy jakąś „hypotezę“ i z niej wyprowadzamy, sposobem dedukcyjnym, wszystkie konsekwencje, nadające się do skontrolowania doświadczalnego. Z wyniku, czy one zgadzają się ze znanymi faktami, czy też sprawdzić się dadzą zapomocą doświadczeń umyślnych, wnioskujemy naodwrot o prawdziwości hypotetycznego założenia. Więć jest to dedukcja na podstawie hypotetycznej, z kontrolowaniem doświadczalnym wniosków.

Wiadomo, jak często takie wnioskowanie doprowadzało badaczy do odkrycia zjawisk poprzednio nieznanych. Wspomnę tylko o kilku jaskrawych przykładach. Sławne jest odkrycie rachunkowe planety Neptuna przez Leverriera i Adamsa, na podstawie przypuszczenia, że zboczenia, zauważone w biegu Urana, pochodzą od przyciągania jakiegoś wówczas nieznanego ciała niebieskiego, które następnie istotnie zostało odkryte teleskopowo przez Gallego. Podobnie, odkrycia t. zw. „załamania stożkowego“ w kryształach podwójnie łamiących dokonał Hamilton na podstawie teoretycznego obliczenia. Podobnie Doppler (1842) twierdził, że zbliżanie lub oddalanie się obserwatora względem pewnego źródła falowania musi wpływać na częstość drgań obserwowanych; że mianowicie to zjawisko objawia się w akustyce jako zmiana wysokości tonu, w dziedzinie zaś optyki jako zmiana barwy światła, wskutek tego jako przesunięcie linii widmowych ku czerwonemu lub niebieskiemu końcowi widma. Zjawisko akustyczne stwierdzono łatwym sposobem doświadczalnym, ale zjawisko optyczne nastrocza trudności o wiele większe; astronomowie na podstawie zasady Dopplera tłumaczyli przesunięcie linii widmowych, które pierwszy raz obserwował Hug-

gins (1862) i nauczyli się nawet wyciągać stąd dalekie wnioski o ruchach ciał niebieskich; ale dopiero Bielopolskiemu (1901) i Starkowi (1906) udało się faktycznie stwierdzić, że istotnie ruch źródeł światła wywołuje takie zjawiska.

Sławnym, klasycznym, podobnym przykładem są zjawiska fal elektrycznych, których istnienie przepowiedział Maxwell (1864) a doświadczalnie stwierdził Hertz (1887), przez co nadał teorii Maxwella rozgłos i na jej korzyść rozstrzygnął dyskusję o podstawach elektrodynamiki. Ileż przewodni tego rodzaju dała nam teoria kinetyczna gazów oraz nowoczesne teorie elektronów i promieniotwórczości. Teoretyczne spekulacje o rozkładzie atomów doprowadziły Ramsaya do podjęcia doświadczeń, które dały jedno z największych odkryć nowszych czasów: mianowicie stwierdzenie, że pierwiastki chemiczne nie są niezmiennie, że hel wytwarza się z radu.

Podkreślił tu tylko kilka jaskrawych przykładów; historia fizyki tak w nie obfituje, że nowoczesnemu uczonemu taki właśnie tok badań wydaje się naturalnym; że raczej dziwi się on niepomiernie, gdy jego przewidywania teoretyczne nie sprawdzają się doświadczalnie. Prawie cała t. zw. fizyka matematyczna polega na tego rodzaju dedukcjach, wynikających z podstaw, o których prawdziwości zdajemy się być przekonani. Oczywista rzecz, że jej zakresem są takie dziedziny, w których posiadamy już ogólną znajomość praw zasadniczych, gdy w dziedzinach jeszcze nie uprawianych da się stosować jedynie metoda indukcyjna.

Określiwszy w ten sposób ogólny charakter tych metod, przejdźmy obecnie do bliższego rozważenia sposobu ich zastosowania.

6. Fundamentem indukcji, jakoteż sprawdzianem dedukcji jest doświadczenie w obszerniejszym znaczeniu słowa (Erfahrung, l'expérience). Zależnie od tego, czy zjawiska, które nas obchodzą, wywołujemy umyślnie, czy też zachodzą one bez naszego współudziału, odróżniamy doświadczenie w ściślejszym znaczeniu, czyli eksperyment, od dostrzeżeń czyli obserwacji.

W zakresie zjawisk, na których powstawanie nie możemy wpłynąć, jak ruchy planet, ziemi, zjawiska meteorologiczne i t. p., rozporządzamy jedynie metodą biernej obserwacji. Astronom musi czekać, aż kometa zbliży się do słońca, tak że jasność jej umożliwi

obserwację; eksperymentów nad planetami astronom wykonywać nie może. Tak samo i w naukach biologicznych dawniejszymi czasami ograniczano się do spostrzegania, obecnie zaś coraz większego znaczenia nabiera kierunek eksperymentalny, wzorowany na fizyce i chemii.

Obserwacją też nazwiemy dostrzeganie zjawisk niespodziewanych. W ten sposób niefachowi wyobrażają sobie zazwyczaj istotę odkrycia. Nie brak rzeczywiście przykładów, że najdonioślejsze odkrycia dokonane zostały przypadkowo, bez jakiegokolwiek zgóry powziętego planu. Wymienimy np. odkrycie Galvani'ego (1789) wpływu prądów galwanicznych na ustrój zwierzęcy, odkrycie Oersted'a (1820) wpływu prądu elektrycznego na igłę magnesową, zjawisk termoelektryczności przez Seebecka (1821), odkrycie promieni Röntgena (1895). We wszystkich tych odkryciach przypadek odegrał rolę decydującą, ale same zjawiska byłyby przeszły niespostrzeżenie i bez konsekwencji dla nauki i ludzkości, gdyby nie zmysł obserwacyjny eksperymentatorów, ten najcenniejszy przymiot przyrodnika. Zasadą tych mężów było, że zanęcały zjawiska zupełnie niepozorne, że poznali ich niezwykłość i że podjęli się ich umiejętnego zbadania. Najzupełniej mylnie byłoby jednak mniemanie, że taka jest normalna geneza odkryć naukowych. Są to zdarzenia zupełnie wyjątkowe w historii nauki. Pospolicie odkrycia nie są wynikiem przypadku, lecz planowej, wytrwałej pracy, doświadczałnej lub teoretycznej.

W przeciwstawieniu do biernej obserwacji nazywamy eksperymentem lub doświadczeniem, w ściślejszym znaczeniu słowa, takie doświadczenia, w których zjawisko podlegające obserwacji potrafimy dowolnie wywołać, albo w których do pewnego przynajmniej stopnia potrafimy dowolnie wpłynąć na jego przebieg. Takie badania umożliwiają nam o wiele szybsze i wszechstronniejsze poznanie prawideł odnoszących się do danego zjawiska, niż sama przypadkowa obserwacja; na nich też przedewszystkiem polega metoda doświadczalna, właściwa fizyce i chemii.

Metoda dokonywania doświadczeń jest odmienna, zależnie od tego, czy, natrafiając na nowe zjawisko, postępujemy metodą indukcyjną, czy też drogą teoretycznych dedukcyj. W pierwszym przypadku upewniamy się przedewszystkiem, w jaki sposób potrafimy wywołać dane zjawisko, następnie badamy systematycznie, czy zmiana warunków (np. natura chemiczna, objętość lub kształt ciał,

temperatura, ciśnienie) wpływa na jego przebieg. W drugim przypadku domyślamy się zgóry pewnych związków, co prawda z większym tylko lub mniejszym prawdopodobieństwem; chodzi nam właśnie o ich sprawdzenie. Dobieramy tedy zgóry warunki doświadczeń celowo tak, ażeby zjawisko samo jaknajwyraźniej wystąpiło, ażeby związki jego z różnymi czynnikami dały się skontrolować, ażeby można było wyrugować wpływ dających się przewidzieć błędów doświadczeń. Takie doświadczenia dają się urządzić w sposób doskonały; jedyną ich wadą jest niebezpieczeństwo, żeby eksperymentujący w sądzeniu wyników nie podlegał wpływowi opinii zgóry powziętej. Są one właściwym polem popisu dla pomysłowości i zręczności eksperymentatora. Jako przykłady tego rodzaju doświadczeń, zarazem jako wzory nowoczesnej techniki doświadczalnej, wymienimy: doświadczenia nad prędkością biegu promieni katodowych, doświadczenia Rutherforda nad liczbą i nabojem cząstek α , Ramsaya nad wydzielaniem się helu z radu, Marxa nad prędkością rozchodzenia się promieni Röntgena, badania nad prawem promieniowania ciał czarnych, nad ciśnieniem światła, nad magnetycznym efektem elektrycznych prądów konwekcyjnych.

W każdym przypadku doświadczenie musi być urządzone z planem celowo obmyślanym, jeżeli ma dać wyniki wartości naukowej. Już Lionardo da Vinci nazwał doświadczenie „pytaniem postawionem przyrodzie”. Ale trzeba umieć zadawać pytania w sposób umiejętny. Robienie doświadczeń bez planu i bez należytego przygotowania jest zabawką prawie bezwartościową.

7. Jeżeli wynik doświadczenia da się określić liczbowo, nazywamy to doświadczeniem ilościowym, w przeciwnym zaś razie doświadczeniem jakościowym. Doświadczenia jakościowe są zwykle pierwszym krokiem do wykonywania ilościowych. Ostatnie są właściwym celem fizyki doświadczalnej; dążymy zawsze do możliwie dokładnego, ilościowego ścisłego poznania praw przyrody. Ze zjawiska fizyczne i chemiczne tak łatwo nadają się do badań ilościowych, że ich prawa dają się wyrażać w formie matematycznej; stanowi to ich przywilej w porównaniu do zjawisk biologicznych; dlatego fizykę i chemję zaliczamy do nauk ścisłych.

Kant powiedział, z pewną przesadą, że w każdej dziedzinie wiedzy tyle tylko jest nauki, ile jest matematyki. Istotnie, postęp

w każdej dziedzinie jest ściśle związany z ujęciem zjawisk od strony ilościowej, t. j. z wprowadzeniem pojęcia wielkości i z wykonaniem odpowiednich pomiarów. Najważniejszą częścią doświadczeń ilościowych jest właśnie mierzenie i ono stanowi główne zadanie badacza, zajmującego się fizyką doświadczalną, nie zaś owe pokazowe doświadczenia, które potocznie nazywamy eksperymentowaniem. Ze wszystkich działów fizyki, mechanika najbezpośredniej nadaje się do wykonywania pomiarów; nawet w życiu codziennym używamy przyrządów służących do mierzenia wielkości mechanicznych (np. miar długości, wagi, zegarów). Dlatego też mechanika historycznie najwcześniej się rozwinęła; pojęcia mechaniczne, jak siła, energia i t. d. zostały później przeniesione do innych działów fizyki; systemat jednostek mechanicznych (C. G. S.) ogarnął z czasem obręb całej fizyki. W dziedzinie elektryczności, na przykład, nadają się bezpośrednio do pomiarów siły mechaniczne, występujące w elektromagnetyzmie i służą za punkt wyjścia teorii elektryczności.

W zakresie zjawisk cieplnych oddawna występuje, jako pojęcie fundamentalne, pojęcie temperatury, której zmiany okazuje termometr. Każdy termometr okazuje jednak, ściśle biorąc, temperaturę pośrednią (nawet jeżeli sprawdzono jego punkty 0 i 100), zależnie od materiału, którym jest napełniony i z którego naczynie jest zbudowane. Gdyby jednak wszystkie termometry wskazywały jednakowo, moglibyśmy tylko ustanowić skalę dowolną (odpowiadającą np. skali tonów na fortepianie); stopnie bowiem są to tylko znaki konwencjonalne, wskazujące, która temperatura jest wyższa a która niższa, nie możemy zaś powiedzieć, ile razy dana temperatura jest wyższa od innej. Nie mamy tu bowiem jednostki temperatury; temperatura tak określona nie jest wielkością lecz jakością. Dopiero gdy Lord Kelvin na podstawie związku zjawisk cieplnych i mechanicznych wprowadził pojęcie „temperatury bezwzględnej“, oczyszczając je od wszelkich niedoskonałości, od tej chwili temperatura stała się wielkością w takim znaczeniu jak długość, masa i t. d.

I dziś nawet istnieją jeszcze działy w fizyce prawie nieopracowane pod względem ilościowym; tu otwiera się olbrzymie pole do pracy i postępu. Do tej kategorii do niedawna zaliczał się dział rozbrojeń elektrycznych w gazach, nastroczający dużo sposobności do efektownych doświadczeń, ale dla badań ilościowych trudno dostępny. Dopiero od kilkunastu lat wykonywa się w tym dziale,

zwłaszcza dzięki J. J. Thomsonowi i jego uczniom, systematyczne badania ilościowe; one wraz z rozwojem teorii elektronowej zdołały do pewnego stopnia wyświetlić te zawile i dawniej zagadkowe zjawiska.

Jako inne, prawie nietknięte działy, wymienimy np. ilościowe badanie absorpcji światła; dotychczas w analizie widmowej ograniczano się do określania położenia prążków absorbujących; zaledwie próbowano mierzyć współczynniki absorpcji; dalej ilościowe badanie fosforescencji, fluorescencji i t. p. Podobnie w innej dziedzinie: ilościowe badanie budowy ciał stałych i jej związku z właściwościami tych ciał.

8. Wykonanie pomiarów doświadczalnych oraz liczbowe ujęcie ich wyników jest ściśle zależne od wydoskonalenia techniki przyrządów mierniczych oraz od stworzenia pewnych wzorców, którymi daną wielkość można wymierzyć w jednostkach określonych. Praca na tem polu, łączącem niejako naukę czystą z techniką, na którym zasłużyli się także pierwszorzędni uczeni, jest doniosłą dzwignią postępu w nauce. Dopiero wydoskonalenie mierniczych przyrządów elektrycznych, któremu Lord Kelvin poświęcił tyle lat życia, umożliwiło rozwój obecnej elektrotechniki; każde wydoskonalenie galvanometrów, elektrometrów i t. d. otwiera nowe horyzonty badaniom naukowym na polu elektryczności. Taką samą doniosłość miały w dziedzinie analizy widmowej prace amerykańskiego fizyka Rowlanda w sprawie wydoskonalenia siatek dyfrakcyjnych; w dziedzinie zjawisk cieplnych wydoskonalenie termometrów, przez zbadanie ich błędów, oraz usunięcie błędów przy użyciu odpowiednich rodzajów szkła.

Nauka o konstrukcji przyrządów fizycznych, zwana w Niemczech „Instrumentenkunde“, jest naturalnie czemś zupełnie odmiennym od fizyki, ale jest ważną nauką pomocniczą. Jakże często fizyk w swych badaniach spotyka zadania, którym nie odpowiada żaden z kupnych przyrządów mierniczych, tak że musi radzić sobie własną pomysłowością i zręcznością. Do jakich wyników tu dojść można, niech o tem świadczą np. nazwiska Langleya (bolometr), Boya (radiomikrometr), Schumanna (granica widma pozajądowego), Rubensa (granica widma pozaczzerwonego), Lorda Rayleigh (badania optyczne, odkrycie argonu), Ramsaya (mikrowaga).

Ażeby wyniki pomiarów móc podać w sposób wszystkim zrozumiały, potrzeba oczywiście ustalenia jednostek, logicznie obmyślanych, dających się ściśle określić oraz nadających się do użycia powszechnego. Od dawien dawna u narodów europejskich bywały używane wspólne miary czasu i kątów; gdy jednak pierwszy raz w roku 1872 podniesiono myśl wprowadzenia wspólnego międzynarodowego układu miar długości, powierzchni, objętości i masy, wydawało się to myślą bardzo śmiałą. Dzisiaj przyzwyczajeni jesteśmy do układu metrycznego w wydawnictwach naukowych i wydaje się nam to symptomem zaściankowego zacofania niektórych krajów, że w życiu codziennym układ ten jeszcze tam nie obowiązuje.

Przechowywaniem wzorców systematu metrycznego oraz porównywaniem kopii naśladowujących te wzorce, kontrolowaniem pochodnych z nich ciężarów precyzyjnych, podziałek długości, sprawdzaniem termometrów i t. p. zajmuje się w Paryżu „Bureau International des Poids et Mesures“, pierwowzór instytucji tego rodzaju. Jednostki w innych działach fizyki tworzą się jako pochodne, przy pomocy miar metrycznych, na podstawie pewnych umów, które są przeważnie wynikiem zjazdów międzynarodowych. Tak określono powszechnie przyjęte miary elektryczne: amper, volt, ohm i t. d. W miarę doskonalenia dokładności pomiaru, okazuje się niekiedy potrzeba rewizji dawnych postanowień; obecnie od szeregu lat taka rewizja jest w toku co do pewnych jednostek elektrycznych. Przygotowuje się również ujednastajnienie jednostek świetlnych, czyli fotometrycznych; czynione są próby ustanowienia wzorców promieniotwórczości.

W obrębie Niemiec i Austrii t. zw. „Eichämter“ zajmują się cechowaniem, to jest sprawdzaniem przyborów mierniczych, wag, ciężarków, zegarów elektrycznych i podobnych przyrządów, sporządzanych przez fabrykantów w celach przemysłowych, handlowych albo naukowych. Tak zwana „Normal-Eichungskommission“ ma ogólny nadzór naukowy nad tą czynnością i wydaje stosowne przepisy. Oprócz tego w Niemczech stworzono *Physikalisch-Technische Reichsanstalt*, jako instytut poświęcony pracom precyzyjnym oraz badaniom naukowym nad zagadnieniami łączącymi się z tym przedmiotem. Podobny instytut stworzył rząd angielski w r. 1899 pod nazwą *National Physical Laboratory* w Teddington pod Londynem; inne kraje posiadają podobne zakłady na mniejszą skalę.

9. W użytkowaniu surowego materiału pomiarów doświadczalnych postępujemy różnemi sposobami, zależnie od celu badania, mając jednak zawsze to na uwadze, że wyniki mogą być do pewnego stopnia wykoszlawione przez błędy przypadkowe lub systematyczne. Niekiedy chodzi nam o najdokładniejsze zmierzenie pewnej wielkości, jak prędkości światła, naboju elementarnego elektronu, równoważnika mechanicznego ciepła, stałej grawitacji i t. p. W takim razie wykonywamy wielką liczbę pomiarów w tych samych warunkach i bierzemy wartości przeciętne z wyników otrzymanych, w celu możliwie dokładnego usunięcia błędów przypadkowych, z których każdy może równie dobrze powiększyć wynik, jak go zmniejszyć, tak że ich wpływy przy tworzeniu wartości przeciętnej wzajemnie się znoszą. Rachunek prawdopodobieństwa dowodzi, że tym sposobem usuwa się błędy przypadkowe z dokładnością wzrastającą w miarę pierwiastka z liczby pomiarów. Nie usuwa się jednak tym sposobem tak zwanych błędów systematycznych; uwzględnienie tych błędów jest zazwyczaj o wiele trudniejsze i ważniejsze. Jeżeli źródła takich błędów dają się teoretycznie przewidzieć, staramy się usunąć je przez obliczenie poprawki. Takie umiejętnie poprawianie surowych wyników, przez obliczanie błędów systematycznych, jest ważnym szczeblem w pracy eksperymentatora. Można też wykonać kontrolę w sposób empiryczny, zmieniając systematycznie warunki doświadczeń i badając, czy wyniki pomiarów okazują się od nich niezależne. Jeżeli okaże się pewna zależność, zbadanie jej daje nam często możliwość usunięcia owego czynnika, wpływającego w sposób niepożądany na wynik pomiaru.

Za zadanie typowe indukcyjnych badań doświadczalnych w fizyce uważać należy, nie wyznaczenie jednej wielkości, lecz znalezienie związku między różnemi wielkościami. Tak np. przy badaniach nad prężnością pary wodnej, które Regnault wykonał, chodziło o zależność tej wielkości od temperatury. W pewnych badaniach Konowalowa chodziło o znalezienie związku między prężnością pary, wznoszącej się nad mieszaniną wody i alkoholu, a temperaturą tej mieszaniny oraz jej składem. W pierwszym przypadku, dana wielkość, prężność pary, zależy tylko od jednego czynnika: temperatury; w drugim przypadku, od dwu czynników (t. zw. zmiennych niezależnych) t. j. temperatury i składu cieczy.

Postępujemy wówczas, jak następuje: oczyszczamy najprzód,

o ile można, surowe wyniki pomiarów od błędów przypadkowych lub systematycznych, w sposób poprzednio wspomniany; następnie przedstawiamy wyniki w formie tablic liczbowych lub sposobem graficznym, albo wreszcie ujmujemy je w formę wzoru matematycznego. Dziś wytworzyła się nawet osobna gałąź nauki, poświęcona temu celowi, t. zw. nomografia. Są to niejako trzy kolejne szczeble przeróbki myślowej surowego materiału lub, w myśl Kirchhoffa, jest to stopniowe upraszczanie opisu. Podanie danych obserwacji będzie prymitywnym opisem bezpośrednim, natomiast najdoskonalszym i najprostszym opisem będzie formuła matematyczna, gdyż obejmuje w sobie wszystkie zmierzone dane (a także wszystkie, które przy dalszych pomiarach jeszcze dałyby się wyznaczyć) jako przypadki szczególne.

Jest w tem, co prawda, jedna wielka trudność: pewna dowolność i niedokładność, tkwiąca w stosowaniu wzoru matematycznego, czy też krzywej graficznej, do danych obserwacji. Wzory matematyczne, zastosowane ściśle do znacznej liczby obserwacji, mają pospolicie formy nadzwyczaj zawiłe. Dlatego są mało użyteczne; co więcej, zawierają w sobie z konieczności wszystkie niedokładności i błędy, które tkwią zawsze w poszczególnych pomiarach.

Słusznie zauważono, że zbyt wielka dokładność pomiarów może być nawet przeszkodą w wykryciu praw zasadniczych. Tak np. planety nie opisują rzeczywiście matematycznie dokładnych elips; wzajemne siły grawitacyjne wywołują bowiem bezustanne zakłócenia czyli perturbacje. Ale Tycho Brahe nie potrafił jeszcze wykonywać pomiarów z precyzją dzisiejszą; Keppler, nie zważając na drobne zboczenia, wypowiedział zatem swoje trzy prawa, które Newtonowi posłużyły za podstawę do wyprowadzenia prawa grawitacji. Jak olbrzymia była również doniosłość prawa Boyle'a i Charlesa lub równania van der Waalsa, mimo, iż dzisiaj wiemy, że żaden gaz dokładnie do nich nie stosuje się. Dlatego dążymy zawsze do uproszczenia wzorów zasadniczych, w zaufaniu do prostoty praw przyrody, nie oddalając się jednak zbyt daleko od danych eksperymentalnych. Jak wielkie wymagania stawiać będziemy co do ścisłości wzoru, jak daleko pójdziemy w jego uproszczeniu, jakie zboczenia przypisać mamy wpływowi błędów, co do tego niepodobna dać reguł ogólnych; tutaj jest obszerne pole dla osobistej przenikliwości badacza i dla poczucia jego taktu naukowego. Rachunek prawdopodobieństwa daje tu niekiedy pewne wska-

zówki, mianowicie wówczas, gdy jesteśmy uprawnieni do przypuszczenia, że błędy są wyłącznie natury przypadkowej, że pochodzą np. z niezupełnie dokładnego odczytania podziałki albo z nieściśłego wyznaczenia chwili pewnego zdarzenia. Słynna metoda najmniejszych kwadratów, stworzona przez Gaussa i dążąca do rachunkowego usunięcia tych trudności, znajduje przedewszystkiem zastosowanie w astronomii i w geodezji. W fizyce rzadko zdarza się sposobność korzystnego zastosowania tej pięknej, ale mozolnej metody rachunkowej.

Zależy to wszystko w wysokim stopniu także od tego, czy rozpatrujemy zjawisko odosobnione, czy związane z innymi już znanymi. Niekiedy, zwłaszcza w technice, używamy t. zw. wzorów empirycznych, t. j. wzorów, wyprowadzonych bezpośrednio z pomiaru zjawiska w pewnym zakresie, bez uzasadnienia teoretycznego i bez względu na związek z innymi zjawiskami. Można na nich polegać w zakresie, do którego stosują się pomiary; ekstrapolacja, czyli rozszerzanie ich zastosowania poza ów obręb, jest nadzwyczajnie niebezpieczna.

Wszystkie wzory i prawa fizyki są naturalnie ostatecznie pochodzenia empirycznego; ale owo wyrażenie ma tylko na celu uwydatnienie przeciwieństwa do wzorów racjonalnych, t. j. takich, które są uzasadnione rozumowo, na podstawie związku badanego zjawiska z innymi, których prawa zasadnicze są nam znane. Wzory racjonalne są zatem przedewszystkiem wynikiem dedukcyjnej metody rozumowania, stwierdzonym przez kontrolę doświadczalną.

Możemy np. obserwować stygnięcie ciała ogrzanego w naczyniu o temperaturze niższej; zjawisko to możemy przedstawić zapomocą wzoru empirycznego, który w podobnych przypadkach daje się później użyć. Z drugiej jednak strony znamy już z wielką dokładnością naturę zjawisk, które wywołują stygnięcie, znamy mianowicie prawa strat ciepła przez promieniowanie, przez przewodnictwo cieplne i prądy powietrza. Dokonano w tym celu badań o zakresie znacznie szerszym; na tej podstawie możemy zapomocą dedukcyj matematycznych wyprowadzić dla stygnięcia wzór racjonalny, który daje się stosować ogólnie. Jego kształt matematyczny będzie zapewne różny od kształtu empirycznego, ale w obrębie pomiarów wyniki ich powinny zgadzać się ze sobą z dostateczną dokładnością.

Bardzo zajmująca kwestja łączy się z tym przedmiotem: czemu szukamy zawsze wzoru jak najprostszego? Niejeden

zapewne odpowie: ponieważ zasadnicze prawa przyrody muszą być proste. Niektórzy filozofowie uważali dogmat o jedności albo prostocie przyrody za prawdę oczywistą. Sceptyk z równą słuszością może to uważać za gołosłowne, bezpodstawne twierdzenie, zwłaszcza, jeżeli nie wierzy w obiektywną realność praw, głoszonych przez fizykę. Może nawet powołać się na historyczny rozwój nauki, w której różne prawa, początkowo przyjmowane z wiarą w ich prostotę, w miarę wydoskonalania obserwacji, zastąpić musiano wzorami bezporównania zawilszymi (np. prawo Boyle'a i Charlesa, prawo stygnięcia Newtona i inne).

Kto stoi na stanowisku Kirchhoffa i Macha, może rozwiązać ową kwestję całkiem odmiennie: szukamy prostoty, ponieważ chodzi nam o jaknajprostszy sposób opisanie zjawisk fizycznych. Umyslnie albo też mimowoli cały kompleks zjawisk przyrody tak rozdzielamy na zjawiska składowe, ażeby ich prawa przybrały postać jaknajprostszą; tylko taka postać odpowiada potrzebom nauki. Systemat naukowy o tyle przecież jest pożyteczny, o ile ułatwia naszemu umysłowi objęcie całości, o ile czyni zadość dążności do ekonomii myślenia. Założenie to odpowiadałoby t. zw. poglądom nominalistycznym, według którego prawa przyrody są subiektywnym utworem naszego umysłu, nie zaś czemś obiektywnym, istniejącym w przyrodzie. Niewątpliwie tkwi w tem ziarno prawdy; w ten sposób uzasadnić istotnie możemy dążenie nauki do upraszczania i ujednastajniania; ale sądzę, że nie wyczerpuje to jeszcze sprawy. Skąd to pochodzi, że prawa fizyczne dają się tak upraszczać? W innych dziedzinach, np. w biologii, daremnie szukamy prostych i ścisłych praw zasadniczych.

Sądzę, że istnieją także pewne obiektywne powody prostoty. Matematyk odrazu to zrozumie, gdy wspomnę o rozwinięciu funkcji w szereg Taylora; albo jeżeli, używając języka geometrii, powiem: im mniejszy rozpatrujemy odcinek regularnej krzywej, z tem większem przybliżeniem można go uważać za prosty. Jeżeli, patrząc na krzywą wzrokiem nieuzbrojonym, widzimy jeszcze jej krzywiznę, to, obserwując zapomocą dostatecznie silnego mikroskopu drobne jej odcinki, w powiększonych rozmiarach, uważać je będziemy za proste. Tak w wielu przypadkach fizyki prostota jej praw na tem tylko polega, że dostrzegamy tylko bardzo mały wycinek przyrody.

Siła sprężyny jest wprost proporcjonalna do wychylenia z po-

łożenia równowagi (t. zw. prawo Hooke'a); prąd elektryczny w dobrych przewodnikach jest w stosunku prostym do siły elektromotorycznej (prawo Ohma); prąd cieplny jest wprost proporcjonalny do spadku temperatury (prawo Fouriera). Wiemy dzisiaj, że w tych razach niema mowy o metafizycznych powodach prostoty, wyrażającej się w prostej proporcjonalności. Wiemy, że dla znacznych wartości wychyleń, siły elektromotorycznej, spadku temperatury, prawo prostej proporcjonalności przestaje się stosować. Jest ono konsekwencją matematyczną okoliczności, że w praktyce badamy pewne wielkości w zakresie stosunkowo bardzo małym. Z tego znów wynikają dalsze konsekwencje matematyczne, z powodu „liniowej formy równań różniczkowych“; pociąga ona między innymi za sobą proste prawo, że harmoniczne tony struny drgającej odpowiadają liczbom dźwięków w stosunku 1:2:3:4...

Z innym, imponującym przykładem prostoty spotykamy się w zasadniczym prawie grawitacji: siła grawitacji jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości. Podobne prawo występuje w różnych innych działach fizyki; np. jako prawo Coulomba w elektrostatyce i magnetyzmie. Rozważania z rachunku wektorów i z teorii potencjału wyjaśniły już dostatecznie, czemu prawa tego matematycznego kształtu odgrywają taką rolę w fizyce. Zbyt śmiało byłoby twierdzenie, że kwestja prostoty da się zawsze sprowadzić do takich powodów; przypuszczam jednak, że tym sposobem wyjaśnią się znaczna część zagadnienia.

10. Omówiwszy w ostatnich rozdziałach zagadnienia, związane z badaniem doświadczalnym, przechodzimy do bliższego rozważania metod dedukcji teoretycznej. Na czoło wysuwa się tu dyskusja o uprawnieniu hipotez i teorii, przedmiot gorących sporów w świecie naukowym. Co się tyczy samych tych wyrazów, są one w swem znaczeniu bardzo zbliżone i trudno podać wyraźną różnicę między niemi.

O hipotezach już mówiliśmy, że są to założenia (przyjęte dlatego, że wydają nam się zgóry prawdopodobne, albo też przyjęte na próbę), które obieramy za podstawę dedukcji teoretycznych, mających doprowadzić do wniosków doświadczalnie sprawdzalnych. Trafnie nazwano hipotezy eksperymentami myślowymi.

Przez teorię rozumiemy zazwyczaj całokształt hipotez podsta-

wowych wraz ze wszystkimi wnioskami, odnoszącymi się do pewnego zjawiska. Powszechnie przyjęta teoria akustyki opiera się na przykład na hipotezie, że zjawiska głosu polegają na odczuwaniu fal podłużnych powietrza; jest to hipoteza, o której prawdziwości nikt dzisiaj nie wątpi. Kinetyczna teoria materii polega na hipotezie, że materia składa się z wielkiej liczby poruszających się cząsteczek, o jednakowej budowie; że przeciętna energia kinetyczna tych cząsteczek odpowiada wielkości, którą zazwyczaj nazywamy temperaturą. Dzisiejsza teoria elektryczności i magnetyzmu opiera się na kilku hipotezach podstawowych, częściowo wyprowadzonych z wielostronnych doświadczeń, jak zasada elektromagnetyzmu i indukcji, częściowo hypotetycznie przyjętych przez Maxwella, jak magnetyczne działanie prądów polaryzacji.

W użyciu tych terminów panuje pewna dowolność: spotykamy się często także z nieco odmiennymi określeniami. Niektórzy używają nazwy *hypoteza* dla określenia fantastycznej i bezpodstawnej spekulacji. W tym znaczeniu należy rozumieć pogardliwe powiedzenie Newtona: *hypotheses non fingo* (obmyślaniem hipotez nie zajmuję się). Za czasów Newtona manja pustego fantazjowania na temat przyrody panowała jeszcze istotnie w całej pełni. Niewątpliwie podobne poglądy pobudziły Macha i Ostwalda przed laty do walki przeciwko hipotezom w nauce. Mach w swym dążeniu do fenomenalizmu twierdzi, że nauka powinna ograniczyć się do badania faktycznych związków między zjawiskami. Ostwald żąda stworzenia *einer hypothesenfreien Wissenschaft* (nauki wolnej od hipotez); historyk Mommsen twierdzi podobnie, że prawdziwa nauka musi być *voraussetzungslos* (bez założeń hypotetycznych). Jak gdyby to wogóle było możliwe! Jak trafnie Boltzmann i Poincaré wykazują, w każdym twierdzeniu fizyki zawarte są pewne hipotezy; bez nich wogóle nie potrafimy rozumować o sprawach przyrody.

Każde na indukcji oparte uogólnienie, każde twierdzenie odnoszące się do świata zewnętrznego, wychodzące poza zakres bezpośrednich naszych wrażeń zmysłowych, jest hipotezą; rozmaite hipotezy różnią się tylko stopniem prawdopodobieństwa i naszego do nich przyzwyczajania się.

Krytycznemu kierunkowi, walczącemu przeciwko hipotezom, trzeba tylko o tyle przyznać rację, o ile zwraca się przeciwko nieuświadamianiu sobie hypotetyczności pewnych założeń lub przeciwko

nieusprawiedliwionemu do nich zaufaniu lub wreszcie przeciwko naiwnej wierze w ich rzeczywistość

Pewną winę w wywołaniu tych nieporozumień ponosi także terminologia, przyjęta od dawien dawna w tych sprawach. Mówimy, że pewna hipoteza lub teoria została „sprawdzona”, jeżeli wniosek, które z niej wyprowadziliśmy, zgadzają się z doświadczeniem. Jeżeli choć jeden wniosek nie potwierdzi się, uznajemy teorię za „nieprawdziwą”. Takie postawienie kwestii musiałoby wzbudzić poważne wątpliwości, gdyby „prawdziwość” miała oznaczać rzeczywiste istnienie. Nie wiemy nigdy, czy nie znajdują się kiedyś dowody, obalające daną hipotezę, choćby wydawała się najpewniej ugruntowana; gdyby nawet żadnych dowodów przeciwko niej nie znaleziono, jeszcze nie wynikałby stąd wniosek, że ta hipoteza odpowiada rzeczywistości. Nie wiemy nigdy, czy nie są możliwe także inne hipotezy, które również doprowadzą do tych samych konkretnych wniosków. Powracamy tu oczywiście do krytyki naiwnej wiary w hipotezy fizyczne, wyluszczonej już na wstępie.

To też nauka dziś nie rozróżnia zazwyczaj, w zastosowaniu do zasad fizyki, hipotez prawdziwych od mylnych; mówimy o hipotezach, że są bardziej lub mniej prawdopodobne. Jest to sposób wyrażania się przyjęty, ale z punktu widzenia logiki również wadliwy. Kiedy można mówić o prawdopodobieństwie (zjawisk od nas niezależnych)? Jedynie w zjawiskach statystycznych, gdzie chodzi o znaczną liczbę wypadków analogicznych. Można zatem ocenić prawdopodobieństwo hipotezy: w ciągu dnia dzisiejszego w Warszawie urodzi się 100 dzieci; ale niema wcale sensu mówić o prawdopodobieństwie hipotezy, że elektrony są kulami sztywnymi.

Nie może również być mowy o tak zwanem prawdopodobieństwie przyczyn; pojęcie to tylko wówczas daje się stosować, jeżeli ten sam skutek również dobrze może być wywołany przez jakkolwiek z szeregu przyczyn. Tyle tylko można wnosić z rachunku prawdopodobieństwa, że teoria, polegająca na kilku hipotezach składowych, jest mniej prawdopodobna niż każda z tych hipotez składowych wzięta z osobna.

Czy pojęcie prawdopodobieństwa jest zatem pozbawione znaczenia w stosunku do hipotez fizycznych? Jakie hipotezy nazywamy prawdopodobniejszymi? Prostu te, które wydają się nam bardziej podobnymi do prawdy, a więc te, które są prostsze i bardziej zgodne z pojęciami, do jakich przywykliśmy. Prawdopodo-

bieństwo hipotezy z tego punktu widzenia jest oczywiście rzeczą bardzo chwiejną i małą daje rękojmię prawdziwości obiektywnej.

Wszystkie te trudności i wątpliwości znikają, jeżeli uprzątniemy sobie poprzednio omawiane zadanie fizyki. Tworzenie hipotez lub teorii nie ma wcale na celu odgadywania rzeczywistego mechanizmu przyrody, lecz ma właśnie umożliwić objęcie myślą jej zjawisk w sposób najzrozumialszy. Wszystkie teorie z tego punktu widzenia uważać wypada za środki pomocnicze w naszym dążeniu do najprostszego opisu zjawisk. Zrozumiemy wówczas przede wszystkim, że, mając do wyboru między różnymi teorjami, z równą ścisłością zgadzającymi się z obserwowanym faktem, pierwszeństwo dajemy tej, która jest najprostsza, najbardziej pogładowa, najzrozumialsza, która najwięcej ujmuje różnych zjawisk w jeden wspólny schemat. Zrozumiemy wówczas niezwykłą tolerancję dzisiejszych uczonych względem różnych hipotez. Ten sam autor posługując się przeciwieństwem naprzemian różnymi, sprzecznymi z sobą hipotezami; chcąc zbadać pewien obręb faktów, próbuje, która okaże się lepszą, nie zarzucając jednak innych. Często nawet zachowujemy takie hipotezy, o których wiemy, że są nieprawdziwe, z ograniczeniem wszakże do zakresu zjawisk, w którym wolno nam posługiwać się nimi. Mówimy np. o promieniach światła, jak gdyby ono tylko w kierunku linii prostej mogło się rozchodzić. Wiemy dobrze, że istnieją zjawiska uginania się światła, ale uwydatniają się one tylko w pewnych przypadkach; w szerokim zakresie t. zw. optyki geometrycznej możemy je całkowicie pominąć, posługując się pojęciem promieni, zapożyczonym z teorii emisyjnej światła. Cała dawniejsza teoria elektryczności była podobnie oparta na pojęciu prądu elektrycznego, stworzonym na wzór obrazu przepływu wody w wodociągu, pomimo, że w pewnych przypadkach może wystąpić miejscowe nagromadzenie elektryczności lub zjawisko fal elektrycznych, wyłamujące się zupełnie z pod praw ważnych dla owych, t. zw. statecznych prądów. I dzisiaj jeszcze zatrzymaliśmy te prawa w nauce o elektryczności, mimo, że wiemy dobrze, iż są one tylko ważne w przybliżeniu, w razie, jeżeli zmiany stanu pola elektrycznego są stosunkowo niezbyt szybkie. Zachowujemy wogóle pojęcia, związane z hipotezami dawno nawet obalonymi, jeżeli w pewnym zakresie faktów są nam dogodne.

Z tego punktu widzenia nie rozróżniamy zatem teorii prawdziwych, nieprawdziwych, bardziej lub mniej prawdopodobnych; roz-

różniamy teorie bardziej lub mniej użyteczne. O ich użyteczności możemy mówić w znaczeniu trojakiem. Tem użyteczniejsza jest teoria lub hipoteza: 1) im prostsza i bardziej pogładowa jest jej istota; 2) im większy obszar poznanych zjawisk objaśnia i naszemu umysłowi czyni przystępnym; wreszcie 3) im lepszym okazuje się przewodnikiem przy badaniach dalszych. Ta ostatnia rola hipotez, polegająca na przewidywaniu rzeczy jeszcze nieznanych, jest niezmiernie ważna dla sprawiedliwej oceny ich znaczenia w nauce. Wspomnieliśmy dawniej już o kilku przykładach, historycznej doniosłości, w których przewidziano zadziwiające zjawiska na podstawie dedukcji teoretycznej, opartej na hipotezach.

Prawdopodobieństwo trafności przewidywania zależy w takim razie od stopnia prawdopodobieństwa podstawowych hipotez, które jest oczywiście tem większe, w im większej liczbie przypadków została już stwierdzona zgodność ich z doświadczeniem. Podobnie rzecz ma się w geometrii: im więcej punktów krzywej wyznaczymy, z tem większą pewnością możemy domyślać się jej przebiegu w innych także miejscach, przez t. zw. interpolację lub ekstrapolację. Nie może być oczywiście nigdy mowy o zupełnej pewności takiego przewidywania, dopóki niemożemy nie został stwierdzony doświadczalnie. Mamy tu najrozmaitsze przejścia; od przewidywania w zakresie mechaniki, które uważamy za tak pewne, że niektórzy chcieli nawet wydzielić mechanikę z nauk indukcyjno-przyrodniczych i włączyć ją do geometrii, jako do nauki o charakterze matematycznej pewności — aż do t. zw. *working theories*, t. j. teorii prowizorycznych, przyjętych w badaniu nowych dziedzin ze świadomym przewidywaniem, że okażą się z czasem niewystarczające, że jednak narazie mogą służyć za nie przewodnią w chaosie zjawisk; podobnie jak wędrowiec, błądzący w puszczy, z wdzięcznością przyjmuje przewodnictwo strumyka, choć nie wie, czy on płynie w pożądanym kierunku.

Ci, którzy prowadzili zacieklą walkę przeciwko hipotezom w nauce, głosząc ideal: *einer voraussetzungslosen Wissenschaft*, zbyt mało zdawali sobie sprawy z historii i psychologii badań naukowych. Ślusznie powiada angielski fizyk Schuster: „Badania, prowadzone sposobem, który niektórzy uważają za jedynie naukowy (gdy badacz bez jakichkolwiek teorii lub pojęć zgóry powziętych pragnie poprostu klasyfikować poznane fakty) rzadko dają wartościowe wyniki. Postęp datuje się od chwili, gdy do przedmiotu

zabieramy się z pewnym określonym planem, albo idąc za jakąś teorią, choćby najbardziej prymitywną, którą trzeba sprawdzić, albo też mając na oku pewien związek liczbowy, który należy bliżej zbadać.

11. Z pośród hipotez i teorii wyróżnić możemy trzy główne rodzaje, jako typy charakterystyczne:

A. Związki matematyczne. Do tej kategorii zaliczyć można wszystkie prawa fizyki, dające się ująć w formę matematyczną, wszystkie wzory zasadnicze fizyki teoretycznej. O ile w nich występują tylko wielkości, podlegające bezpośredniej obserwacji, nauka, ograniczająca się do takich teorii matematycznych, jest wyrazem t. zw. „fenomenalizmu“, propagowanego zwłaszcza przez Macha i jego szkołę. Należą do tego typu związki najróżniejszych rodzajów, takie, które wyrażają się w formie zwykłych równań (np. prawo załamania światła, prawa elektrolizy i t. d.), jako też i równania różniczkowe, zwłaszcza równania cząstkowe (jak zasadnicze równania teorii sprężystości, hydrodynamiki, elektrodynamiki, przewodnictwa cieplnego, dyfuzji i t. d.).

B. Mechanizmy, analogie lub modele zjawisk fizycznych. Do tej kategorii należą: teoria atomistyczno-kinetyczna wraz z jej różnymi odgałęzieniami; teoria elektronowa; emisyjna, undulacyjna, elektromagnetyczna teoria światła; teoria mechaniczna zjawisk akustycznych; teoria grawitacji Lesage'a; teoria atomów wirowych Lorda Kelvina; teorie mechaniczne zjawisk elektrycznych Maxwella; teorie transformacji promieniotwórczej i t. d. Przeciwnie tego rodzaju teorjom zwracała się krytyka „fenomenalistów“, gdy przeciwnie Maxwell, Boltzmann i inni w tworzeniu takich modeli, czyli obrazów zjawisk fizycznych, upatrywali główne zadanie fizyki. Co prawda, według tych uczonych, modele te bynajmniej nie muszą w swej istocie odpowiadać rzeczywistości; chodzi raczej o to, żeby w prawdziwy sposób przedstawiały zjawiska dostępne obserwacji, podobnie jak maszyna do rachowania wykonywa rachunki zgodnie z prawami logiki matematycznej, mimo, że ma budowę zupełnie odmienną od budowy naszego mózgu. Chodzi tu o uwydatnienie formy, nie zaś o treść.

Można pojmować takie modele jako sposób, służący do najprostszego opisanie czy przedstawienia zjawisk pewnego zakresu.

Wyróżnienie ich wobec kategorii A polega na ich pogładowości. Wskutek tego często, w sposób nadzwyczaj prosty i zrozumiały, uprzedniając naszemu umysłowi nawet takie zjawiska, których nie można jeszcze ująć we wzory matematyczne; przytem takie modele dają najwyraźniejsze pobudki do badań w określonych kierunkach.

Pod pojęcie B można także podciągnąć wszelkie wogóle analogie, służące do ilustracji praw pewnego zjawiska; z tego punktu widzenia można także uważać wzory matematyczne A za specjalny rodzaj „obrazów“, mianowicie za takie, które ilustrują zjawiska fizyczne przez analogię z formułą matematyczną.

Większe lub mniejsze upodobanie do teorii rodzaju A lub B zależy zresztą w wysokim stopniu od osobistych umysłowych skłonności. Umysły logiczno-krytyczne, jak Lagrange, Ampère, Kirchhoff, Hertz, Duhem, przywykłe do myślenia czysto matematycznego, skłaniają się raczej do trzeźwych, abstrakcyjnych hipotez rodzaju A, gdy tymczasem umysły przyrodnicze, o typie wyobraźni geometryczno-poglądowej, mimowoli zawsze szukać będą oparcia w hipotezach rodzaju B. Jest to oczywiście typ przeważający między fizykami; jest on zwłaszcza charakterystyczny dla szkoły angielskiej (Faraday, Maxwell, Lord Kelvin, J. J. Thomson, Rutherford). Lord Kelvin powiada: „dopóty nie jestem zadowolony, dopóki nie potrafię zbudować mechanicznego modelu badanego zjawiska; jeśli mi się to udaje, rozumiem zjawisko; jeśli zaś nie udaje mi się, zjawisko pozostaje mi niezrozumiałe“. Dzisiejsi uczeni pojmują wyraz „model“ w znaczeniu ogólniejszem, nie ograniczając się do modeli mechanicznych; zresztą powiedzenie to bardzo trafnie charakteryzuje umysłowość tych, którym zawdzięczamy największe odkrycia dokonane w ostatnich czasach.

C. Jako specjalny typ hipotez, jakkolwiek łączący się ściśle z typem B, wymienimy jeszcze hipotezy ukryte, zwykle nie sformułowane wyraźnie, lecz mieszczące się w samych pojęciach, terminach technicznych i t. d. Mówiąc np. o ilości elektryczności, tem samem już zakładamy, że każda cząstka elektryczności ma takie same właściwości jak całość. Czemu mówimy o ilości ciepła, nie zaś o ilości temperatury? Jak dziwny wydawał się początkowo pomysł Poyntinga, dziś już powszechnie przyjęty, wprowadzenia pojęcia „prądu energii“. Ile półświadomych skojarzeń łączy się np. ze słowami: siła, energia, praca, masa. Człowiek, studujący fizykę, musi usilnie dążyć do tego, żeby wyzwolić się z błędnych sko-

jarzeń, łączących się z temi popularnymi terminami. Często uświadamiamy sobie dopiero później wyraźnie podświadome skojarzenia, gdy okaże się, iż niesłusznie je łączyliśmy z danym przedmiotem. Teoria względności Einsteina wykazała dopiero dzisiaj, jakie wady tkwiły w dotychczasowym pojęciu czasu; wykazała, że czas w układzie nieruchomym inaczej przebiega, niż w układzie poruszającym się.

Różne skojarzenia, łączące się z danym pojęciem, mogą być przeszkodą postępu, jeżeli są nieświadomym przesądem; z drugiej znów strony są one właśnie tem, co głównie nadaje pojęciom obrazowość i pogładowość. Początkowo, gdy nauczymy się definicji potencjału lub entropji, umysł nasz mało stąd odnosi korzyści. Postęp polega na tem, że z czasem, w miarę jak poznajemy zastosowanie tych pojęć, coraz więcej z nimi oswajamy się, że się do nich przyzwyczajamy i łączymy z nimi odpowiednie asocjacje. To głównie stanowi o wyrobieniu w danej nauce i to daje się osiągnąć jedynie przez długotrwałe różnorodne ćwiczenia.

Gdy mowa jest o ciałach materialnych, pojęcie materji wydaje nam się zupełnie jasne i zrozumiałe; natomiast, gdy uczą nas o zjawiskach elektrycznych, mimowoli wciąż pytamy: czem jest właściwie elektryczność? Jedno i drugie pojęcie nie da się bliżej objaśnić, lecz z pierwszym oswoiłoby się już od dzieciństwa. Nadzwyczajnie ważna jest jednak dokładna analiza pojęć podstawowych i w związku z tem uświadomienie sobie owych mimowolnych asocjacji.

12. Charakterystyczną cechą t. zw. nauk ścisłych jest ich bliski związek z matematyką. Tem właśnie, że nadają się do argumentacji matematycznej, górują one nad naukami opisowo-przyrodniczymi; to nadaje im cechę ścisłości. Stosuje się to zwłaszcza do fizyki; bezpośrednie dane pomiarów przybieramy o ile możliwości w szatę matematyczną, argumentujemy, posługując się bezustannie jedną ścisłą metodą wnioskowania, t. j. argumentacją matematyczną i prawa zasadnicze wyrażamy przeważnie przy pomocy wzorów matematycznych. Fizyka, zwłaszcza tak zwana fizyka teoretyczna, posługuje się zatem matematyką jako głównym narzędziem i jest w najwyższym stopniu zależna od jej wydoskonalenia.

Słowo „narzędzie“, tak często w tym przypadku używane, nie

określa jednak właściwej roli matematyki; przez narzędzie rozumiemy przedmiot, który sam przez się jest nam obojętny, a interesuje nas tylko jako środek do pewnego, zgóry oznaczonego celu. Tymczasem matematyka miała wielki udział w samem tworzeniu pojęć zasadniczych fizyki i w ustanawianiu celów, do których fizyka dąży.

Z pośród różnych gałęzi matematyki, najważniejsze chyba miejsce w fizyce zajmuje teoria równań różniczkowych, z tego powodu, że w formie takich właśnie równań wyraża się znaczna część praw zasadniczych. Przedewszystkiem należą tu wszystkie równania, wyrażające zmiany w stanach t. zw. pól fizycznych, jak równania sprężystości, hydrodynamiki i elektrodynamiki. Wspólną ich cechą jest to, że wyrażają zmianę stanu, występującą w przeciągu krótkiego czasu w danym punkcie, jako zależną od stanu bezpośredniego otoczenia owego punktu. Można by to uważać za najlepsze ujęcie zasady przyczynowości, jeżeli ową czasową zmianę danej wielkości fizycznej uważamy za skutek, a chwilowy jej rozkład w otoczeniu za przyczynę; jednakowoż ten związek jest typowo odwracalny. Takie prawa elementarne są nadzwyczaj proste, gdy tymczasem zjawisko w całości jest bardzo skomplikowane i zależy od różnych okoliczności, w sposób bardzo zawiły, mianowicie z powodów, które już poprzednio poruszyliśmy przy sposobności rozważań nad prostotą zasadniczych praw fizyki (§ 9).

Podobnie także równania dynamiki wyrażają zmianę, występującą z czasem w prędkości danego ciała, w zależności od miejscowego rozmieszczenia czynników, które wywołują tę zmianę.

Zadania, z któremi najczęściej spotykamy się w fizyce teoretycznej, polegają na tem, że wnioskujemy o przebiegu zjawiska na podstawie znajomości prawa zasadniczego, odnoszącego się do chwilowych zmian w pojedynczych elementach przestrzeni, oraz na podstawie wiadomości t. zw. warunków „początkowych“ lub „krańcowych“. Jest to zadanie, które w matematyce nazywamy „całkowaniem równania różniczkowego“. Niestety, według powiedzenia Fourierra, przyroda nie troszczy się o trudności, które sprawia matematykom. Znamy nadzwyczaj dokładnie równania podstawowe hydrodynamiki, ale, mimo usiłowań najdzielniejszych teoretyków, nie potrafimy do dziś dnia wyciągnąć z nich wniosków należytych co do zagadnień najważniejszych dla praktyki, gdyż równania te należą do typu t. zw. równań nieliniowych, które matematycznemu badaniu

sprawiają dotychczas wielkie trudności. Dlatego też dotychczas cała ta część fizyki znajduje się w tak opłakanym stanie, dlatego do dziś dnia w hydraulice technicznej używa się prawie wyłącznie prymitywnych i niedokładnych wzorów empirycznych, dostosowanych do każdego szczególnego przypadku; nie można spodziewać się zasadniczego postępu w tej dziedzinie, dopóki nie znajdzie się wyjścia z owych trudności matematycznych.

Ale fizyka teoretyczna nie wymaga tylko rozwiązywania równań różniczkowych. Rozumowania o przestrzennym rozmieszczeniu wielkości fizycznych polegają na stosowaniu metod geometrii analitycznej, zwłaszcza także rachunku wektorów, nadającego się najlepiej do tego celu. W niektórych działach, np. w statyce graficznej, w optyce geometrycznej, mogą również znaleźć zastosowanie metody geometrii syntetycznej. Ogromny rozwój teorii atomistyczno-kinetycznej, a także elektronowej, jest ściśle związany ze stosowaniem metod rachunku prawdopodobieństwa. W tym kierunku przyszłość z pewnością przyniesie zupełnie nowe punkty widzenia. Wogóle mało jest działów matematyki, z których fizyk nie mógłby skorzystać. Teoria funkcji Riemanna, transformacje stycznościowe, równania całkowe, geometria tworów wielowymiarowych znajdują w fizyce niespodziewane pola zastosowania; nawet teoria liczb okazuje się niezbędną do rozwiązania pewnych zadań (np. w kwestji drgań błony sprężystej).

Wiadomo dobrze, że, naodwrot, matematyka w znacznej mierze zawdzięcza swój rozwój właśnie pobudkom ze strony fizyki. Fizyka zadawała pytania, nakreślała zagadnienia; zwłaszcza w dawniejszych czasach, fizycy, którzy szukali nowych dróg, byli równocześnie pionierami w nowych, nieznanych dziedzinach matematyki. Newton stworzył rachunek fluksyj, czyli różniczkowy, jako instrument matematyczny, przystosowany do badania ciągłej zmienności wielkości fizycznych; stał się tym sposobem inicjatorem t. zw. matematyki wyższej. Podobnie później rachunek warjacyjny powstał z pewnych zagadnień z zakresu mechaniki. Badania nad linjowemi równaniami różniczkowemi, badanie szeregów Fouriera, funkcji kulistych, funkcji Bessla, Lamégo i t. d. miały punkt wyjścia w konkretnych zagadnieniach fizycznych. Najznakomitsi uczeni dawnych czasów, Newton, Bernoulli, Lagrange, Poisson, Fourier, Gauss w równej mierze uprawiali fizykę teoretyczną jak właściwą matematykę; do dziś dnia w Anglii rozumie się przez *Mathema-*

tics w znacznej mierze nie tylko matematykę czystą, lecz i matematykę stosowaną do fizyki.

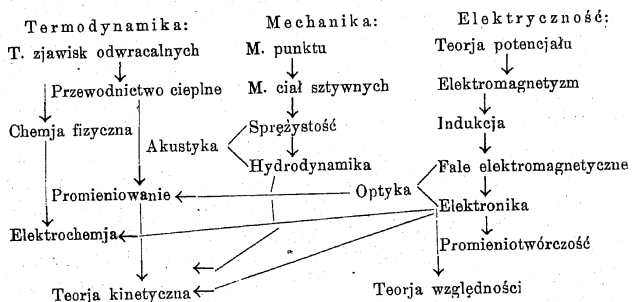
Ścisłe oddzielenie, a nawet pewien antagonizm, który zarysowywa się dzisiaj u przedstawicieli tych dwu nauk na kontynencie, jest stosunkowo świeżej daty. Jest on następstwem rozrostu nauki i rozwijającej się specjalizacji ale ma także pewien podkład wewnętrzny, gdyż ostateczne cele tych dwóch nauk są całkiem różne. Matematyka interesują pewne zagadnienia, które umysł ludzki stwarza sobie, jako takie. Fizyk zajmuje się światem zewnętrznym, fizycznym; owe zagadnienia tylko o tyle go obchodzą, o ile łączą się z jakimiś zjawiskami fizycznymi. Fizyk zajmuje zatem wobec matematyki stanowisko utylitarne. Matematyków dzisiejszych, jako smakoszków intelektualistycznych, takie subtelności i niezwykłości najbardziej interesują, jakich w normalnych zjawiskach fizycznych wcale nie napotykamy.

13. Na uniwersytetach istnieją zazwyczaj osobne katedry fizyki doświadczalnej i fizyki teoretycznej lub matematycznej; podział ten uwydatnia się także w wykładach i do pewnego stopnia w podręcznikach. Nie wypłynął on jednak z istotnej różnicy przedmiotu, lecz z różnicy w metodach badań, a zwłaszcza w sposobie przedstawiania ich wyników. Fizyka doświadczalna i teoretyczna łączy się zupełnie tych samych zjawisk; ale pierwsza zajmuje się głównie praktycznem wykonywaniem doświadczeń, druga zaś matematyczno-teoretycznem opracowywaniem dostarczonych materiałów empirycznych. Obie te części nauki tworzą zatem nierozdzielalną całość; podział powstał tylko ze względów oportunistycznych, gdyż rzadko zdarza się, ażeby badacz posiadał równie wybitne zdolności w kierunku matematyczno-spekulacyjnym jak w kierunku praktyczno-doświadczalnym; równocześnie także brak przygotowania matematycznego pewnej części uczących się wymaga analogicznego podziału materiału ze względów dydaktycznych.

Jeżeli chodzi o podział fizyki na różne części według przedmiotu badania, sprawa przedstawia się rozmaicie, zależnie od stopnia naukowego wykształcenia. W dawniejszych dziełach panował podział, odpowiadający pogładowi człowieka naiwnego: według zmysłów, zapomocą których zjawiska spostrzegamy, t. j. podział na: mechanikę, akustykę, optykę, naukę o cieple, o elektryczności

i magnetyzmie; ten sam podział nadaje się i dzisiaj jeszcze, ze względów dydaktycznych, do nauki wstępnej.

W miarę pogłębiania nauki i stopniowego usuwania z niej pierwiastków przypadkowych, zależnych od zmysłów obserwatora, czyli antropomorficznych, wydziela się niektóre przedmioty, jak budowa i funkcja ucha i oka, złudzenia optyczne, harmonia i t. d., jako należące do fizjologii człowieka, fizyczną zaś część akustyki łączy się z mechaniką, jako drobny poddział pod nazwą: drgania ciał sprężystych. Optykę wciela się do działu traktującego o elektromagnetyzmie, gdzie tworzy ona drobną, przypadkowo dla ludzi w życiu praktycznym bardzo ważną część rozdziału o falach elektromagnetycznych. Tym sposobem powstaje podział fizyki na trzy główne działy, według następującego schematu:



Nie jest to jednak jeszcze podział racjonalny. Można się spierać, czy teorię potencjału włączyć należy do nauki o elektryczności, czy do mechaniki; teoria kinetyczna gazów powinna właściwie, ze względu na metodę badania, stanowić oddział mechaniki, ale z drugiej strony łączy się ściśle przedmiotem z termodynamiką; promieniotwórczość powinna właściwie zaliczać się do chemii fizycznej, ze względu jednak na przeważające stosowanie metod do świadczalnych elektrycznych zaliczamy ją raczej do nauki o elektryczności.

Nie są to właściwie trzy działy różniące się co do przedmiotu badania; są to raczej trzy sposoby usystematyzowania całego zakresu zjawisk fizycznych, trzy ogólne, do pewnego stopnia rywalizujące ze sobą, jednolite systematy, albo fizyczne poglądy na świat.

Historycznie najstarszy jest systemat mechaniczny, dążący do stworzenia mechanicznego modelu wszystkich zjawisk. Można go także rozciągnąć, przy pomocy teorii kinetycznej, do zjawisk cieplnych; przy użyciu modeli mechanicznych Maxwella można objąć także prawa elektryczności i magnetyzmu. Systemat mechaniczny odznacza się największą pogładowością; dlatego też najgłębiej się zakorzenił, przeniknął nawet do nauczania elementarnej i literatury popularno-naukowej.

Przeciwko przewadze tego systematu podniosła się reakcja zupełnie usprawiedliwiona pod koniec wieku XIX; dziś utracił on większość swych zwolenników w sferach naukowych. Usiłował go wówczas usunąć na drugi plan systemat termodynamiczny, czyli energetyczny, który, wychodząc z zupełnie odmiennego stanowiska, rzucił nowe światło na zjawiska fizyczne przez to, że grupuje je na odwracalne i nieodwracalne i analizuje z punktu widzenia pojęcia energii i entropji.

Szkoła energetyków już się przeżyła. Uznając olbrzymią doniosłość metod termodynamicznych w ich właściwym zakresie, t. j. w obrębie odwracalnych zjawisk cieplnych i chemii fizycznej, przynajmniej przecież musimy, że w rozszerzeniu do działu elektryczności i do zjawisk nieodwracalnych nie okazały one oczekiwanej płodności i że w pewnych punktach spornych zostały zwyciężone przez pogląd atomistyczno-kinetyczny. Dziś niezaprzeczenie prym wodzi pogląd elektryczny; okazało się, że zjawiska mechaniczne o wiele odpowiedniej można redukować do elektrycznych, aniżeli naodwrot. Może być, że z czasem jednolity pogląd elektryczno-atomistyczny wchłonie w siebie ostatecznie wszystkie inne; może też poglądy zmieniać się; może z czasem powstaną jeszcze działy nauki zupełnie nowe.

Można zatem połączyć te trzy systematy w schemat ogólny, interpretując je jako kolejne szczeble procesu abstrakcyjnego przystaczania fizyki w jedną, jednolitą budowę. Termodynamika poprzestaje na opisie zjawisk fizycznych w formie najogólniejszej i najbezpośredniejszej, czyli najbardziej fenomenologicznej, ale musi przyjąć szereg różnych właściwości dla scharakteryzowania różnych ciał. Te właściwości, jak rozszerzalność termiczna, ściśłość, ciepło właściwe i t. d., przyjmuje za wielkości empirycznie dane i nie potrafi ich dalej wytłumaczyć. Teoria mechaniczna sięga znacznie głębiej; usiłuje wytłumaczyć nie tylko ogólne prawa termodynamiki, ale także

termodynamiczne właściwości różnych substancji, przy pomocy poglądów atomistycznych. Wreszcie nowoczesna teoria elektryczności tłumaczy wszelkie zjawiska mechaniczne, a tem samem także termodynamiczne, jako objawy sił elektromagnetycznych i wskazuje równocześnie drogę rozwoju teorii atomistycznej, dowodząc, że atomy dawnej teorii mechanicznej są to układy, złożone z elektronów, że sposób ich ułożenia może wytłumaczyć zasadnicze właściwości atomów różnych substancji. Owe trzy metody rozumowania mają każda swój właściwy zakres zjawisk, w którym okazują się najdogodniejsze do użytku; z tego punktu widzenia podział powyższy może zachować rację bytu, bez względu na głębokie problemy, związane z usystematyzowaniem fizyki.

Spotykamy się niekiedy z odmiennymi systematami podziału. Tak np. Bouasse dołącza jako osobny dział: fizykę kryształów, w przeciwstawieniu do teorii ciał bezpostaciowych, równokierunkowych. Może to być poniekąd praktyczne, ze względów dydaktycznych, ale nie ma oczywiście żadnego uzasadnienia logicznego, gdyż badania nad tworzeniem się kryształów i nad ich budową należą do termodynamiki i teorii kinetycznej, a zjawiska sprężystości, optyki i t. d. w kryształach — do odpowiednich działów ogólnych.

W innych dziełach spotykamy się z podziałem fizyki na fizykę materji: mechanika, akustyka, ciepło, chemja fizyczna, i na fizykę eteru: elektryczność i magnetyzm oraz optyka. Nie można jednak tego podziału uznać za pomysł szczęśliwy. Pominąwszy, że dzisiaj wielu fizyków nie uznaje wogóle istnienia eteru, widzimy, że ciąga to za sobą liczne niekonsekwencje; w takim razie trzeba umieścić w fizyce eteru różne zjawiska, w których właściwości materji występują wybitnie i w których nawet po części posługujemy się metodami termodynamiki, jak np. elektrochemja lub promieniowanie.

XIII. KIERUNKI I ZAGADNIENIA FIZYKI DZISIEJSZEJ.

Poradnik dla Samouków. Wskazówki metodyczne dla studjujących poszczególne nauki. — Fizyka, Geofizyka, Meteorologia. — Wydawnictwo A. Heflicha i St. Michalskiego z zapomogi Kasy im. Dra J. Mianowskiego. Tom II. Warszawa 1917; str. 333—353¹⁾.

1. Kto zdał gimnazjalną maturę albo egzamin nauczycielski, zwykle przypuszcza, że posiadał nie tylko całą mądrość naukową, ale że nauka dopięła już swego celu ostatecznego, że wszystko już zbadala, że żadnych dla niej niema tajemnic. Podobny jest do człowieka, który, przejechawszy zbytkownym wagonem z Petersburga do Władywostoku, osądziłby na podstawie swych wrażeń ogólne stosunki w Syberji; jakie tam wygodne życie, jakie doskonałe komunikacje. Skąd pochodzą takie złudzenia co do stanu nauki, łatwo wyjaśnić. Uczący się nie przyjrzał się pracom badaczy, lecz jedynie posiadał znajomość specjalnie ułożonych podręczników, które zawierały właśnie tylko wiadomości dostępne zrozumieniu i ułożone w piękny systemat; przy egzaminie stawiano mu pytania tylko z tego zakresu, nie poruszając zagadnień niewyjaśnionych. Wskutek tego dziwi on się, że do doktoratu wynagana jest samodzielna, twórcza praca. „Gdzież wogóle w fizyce można znaleźć jakiś nowy, nieopracowany jeszcze temat?“ Dziwne zapytanie. Dla fizyka eks-

¹⁾ [Artykuł ten stanowi „Zakończenie“ działu „Fizyka“, opracowanego przez M. Smoluchowskiego w wydaniu nowem *Poradnika dla Samouków*. Czytając piękną tę pracę, winniśmy o tem pamiętać, że powstała ona w latach 1915 i 1916; z takim zastrzeżeniem wypada rozumieć użyty w tytule wyraz *dzisiejszej*. Po upływie lat kilkunastu, które przyniosły tyle odkryć i przezwyciężyć tak wiele trudności, *kierunki i zagadnienia fizyki* wyglądają *dzisiaj* inaczej. Tem bardziej pouczający jest zarys wczorajszych kierunków, niedawnych jeszcze zagadnień, obraz rzucony pewną ręką znawcy i myśliciela; tem żywiej objaśnia ewolucję nauki, tem uwydatnia dobitniej, jak jej dążenia są zbieżne, jak zmierzają różnemi drogami do coraz trwalszego wyniku; *przyp. wyd.*].