

P. Duhem.
EWOLUCYA MECHANIKI.¹⁾

IV. POWRÓT DO ATOMIZMU I DO KARTEZYANIZMU.

1. Mechanika Hertza.

Mówiliśmy dotąd o usiłowaniach geometrów, którzy starali się sprowadzić wszystkie zjawiska Przyrody nieożywionej do ruchów widocznych lub ukrytych, poddanych równaniom L a g r a n g e'a.

W równaniach tych, niezależnie od pojęć czysto geometrycznych, występuje pewna liczba pojęć, uważanych za pierwsze i nieprzywiedlne. Można pomiędzy temi pojęciami wyróżnić cztery zasadnicze, mianowicie: ruch bezwzględny, czas, masę, siłę. Pojęcia te, obce Geometrii, są brzemieniem nieznośnym dla chcących w Przyrodzie widzieć jedynie: „rozciągłość i zupełnie gołą jej zmianę“. Tacy to właśnie czynią rozpaczliwe wysiłki w celu uwolnienia Mechaniki od tego ładunku pojęć niegeometrycznych, a zwłaszcza od najbardziej metafizycznego z nich pojęcia siły.

Nie wszyscy, co prawda, fizycy odczuwają taki nieprzewyższony wstręt do przyjęcia rzeczywistego istnienia siły; są pomiędzy nimi tacy, którzy rzeczywistość tę przyjmują zupełnie wyraźnie: „Przyciągania, wytwarzające zjawiska astronomiczne, powiada Atanazy Dupré²⁾, przyciągania cząsteczkowe, z tamtymi się wiążące, ulegają prawom, nadanym Przyrodzie przez wolę wszechpotężną i nieodmienną Stwórcy“. H i r n, bardziej jeszcze

Patrz „Wiad. mat.“ t. VII, 1903 str. 113—168, 244—288.

²⁾ A t h a n a s e D u p r é. „Théorie mécanique de la Chaleur“, Chap I, str. 1, Paryż 1869.

stanowczy, oświadcza ¹⁾, że „siła nie jest ani wytworem umysłowym, ani jakością materji, jak to często zwykło się mówić; istnieje ona zupełnie tak samo jak materya i jest zasadą twórczą specjalną Wszechświata“.

Lecz jeżeli są fizycy, przyjmujący rzeczywiste istnienie siły i widzący w niej nawet wraz z Leibnizem coś, co „ma związek z duszami“, to zato liczba ich jest bezwątpienia mniejsza od liczby fizyków, odrzucających pojęcie siły jako pojęcie pierwotne.

Pomiędzy tymi ostatnimi jedni, jak de Saint-Venant i Kirchhoff, zachowują w zupełności Mechanikę Lagrange'a, uważają wszakże pojęcie siły za pojęcie pochodne; w iloczynie masy punktu materialnego przez jego przyśpieszenie widzą nie symbol ilościowy, nadający się do przedstawienia rozmaitych natężeń siły, mający być jej miarą, lecz tylko samą definicyę siły. Nie bez pewnego trudu doprowadzają oni logicznie doktrynę swoją czysto nominalistyczną aż do zastosowań fizykalnych i unikają późniejszego lub wcześniejszego wprowadzenia pojęcia, które wygnali byli z początków Mechaniki. Dynamika ich, wychodząc z równości, prawdziwych na podstawie definicyi, rozwija się w doskonałym porządku i w nieomyślnym powiązaniu; lecz to, co jest jej ściśłością, stanowi zarazem jej bezpłodność, albowiem operuje ona na samych tylko tożsamościach. Aby tożsamości te przekształcić na sądy syntetyczne, które nas uczą czegokolwiek o ciałach i ich ruchach, musi ona przełamać sztywność analityczną; w chwili, gdy ma mówić o siłach szczególnych, rozważanych przez fizyka, musi wciągnąć na nowo wszystkie intuicje doświadczalne, z których ogołociła w początkach pojęcie ogólne siły. To też metoda ta jest w łasce zwłaszcza u tych, którzy wyłożywszy ściśłą, ale zarazem bezpłodną, Mechanikę rozumową, opuszczają na progu Fizyki swych uczniów, nieświadomych jeszcze trudności, jakie napotkają, i metod, które mogą trudności te rozwiązać.

Inni, wraz z Hertzem, powracając do przepisów kartezyańczyków i atomistów, usiłują posunąć wyjaśnienie zjawisk fi-

¹⁾ Hirn. „Théorie mécanique de la Chaleur. Conséquences philosophiques et métaphysiques de la Thermodynamique“, str. 65. Paryż 1868.

zykalnych dalej poza redukcję do równań Lagrange'a, i chcą zatrzymać się w swej analizie dopiero po sprowadzeniu wszystkich przekształceń materii nieożywionej do postaci, ruchu i masy. Ale i tym fizykom sposobów zbudowania interpretacji Świata z tamtych jedynie elementów dostarcza Mechanika d'Alemberta i Lagrange'a.

W samej rzeczy, Dynamika ta nie tylko rozważa siły rzeczywiste, lecz także kombinacje matematyczne jednorodne względem sił, wymieralne w jednostkach siły i odgrywające w równaniach rolę sił, słowem siły fikcyjne, jakimi są siły połączenia i siły bezwładności.

Wynika stąd następujący wniosek: Gdy doświadczenie ujawnia nam skutki, które zdają się wypływać z sił rzeczywistych, być może, że ulegamy złudzeniu, mamy zaś w istocie do czynienia z siłami pozornymi, z siłami połączenia, pochodzącymi od obecności ciał, których nie widzimy, albo też z siłami bezwładności, pochodzącymi od ruchu, którego nie podejrzewamy. Ktoś, ciągnący ciało, z którym związane jest inne nicią niewidzialną, widząc to drugie ciało, postępujące za pierwszym, mógłby pomyśleć, że istnieje przyciąganie wzajemne pomiędzy obydwoma ciałami; ale uległby wtedy złudzeniu, bo miałby do czynienia z siłą połączenia, wytworzoną przez masę ukrytą. Ktoś, nie wiedzący o ruchu obrotowym, ożywiającym gyroskop, gdyby usiłował odchylić osł narzędzia i doznał przytem wyraźnego oporu, mógłby pomyśleć, że rzeczywista siła dąży do utrzymywania tej osi w niezmiennym kierunku; lecz byłby w błędzie, bo miałby do czynienia z siłą bezwładności, wytworzoną przez ruch ukryty.

Według Maxwella, fizycy, poczynając od Ampère'a, bywali ofiarą złudzenia tego rodzaju, gdy uważali siły elektrodynamiczne i elektromagnetyczne za siły rzeczywiste. Widzieliśmy już poprzednio, że wielki fizyk szkocki uważa działania te za siły bezwładności, już to wyobrażając w sobie w łonie komórek płyn, ożywiony szybkimi ruchami obrotowymi, do którego są przyłożone siły bezwładności, już to wyciągając tę interpretację z samego wyglądu wzorów Elektrodynamiki.

Teorie elektryczne Maxwella wiele z sił, uważanych przez fizyków za siły rzeczywiste, traktują jak siły bezwładności; pe-

wne wyrazy, które kładziono na rachunek potencjału wewnętrznego, przypisują sile żywej; ale w każdym razie ani siły rzeczywiste, ani potencjał wewnętrzny nie są z tych teoryj zupełnie usunięte. Ciało sprężyste, tworzące ściany komórek, ma potencjał wewnętrzny, zmieniający się wraz z odkształceniem ścian; powstają tym sposobem siły rzeczywiste, które są siłami elektrostatycznymi. Gdy Maxwell, porzuciwszy hipotezę komórek, ogranicza się na tem, że prawom elektryczności nadaje wyrażenie, przypominające równania Lagrange'a, wtedy w dalszym ciągu uważa potencjał elektrostatyczny jako wyobrażający istotny potencjał wewnętrzny, nie zaś za część siły żywej.

Potencjał wewnętrzny i wynikające zeń siły rzeczywiste są natomiast całkowicie wyłączone z konstrukcyi eteru, któremu W. Thomson przypisuje roznoszenie światła.

W następstwie badań Fresnela, Cauchy, Green, Neumann i Lamé przypisali eterowi własności, podobne do własności ciała stałego sprężystego; taki eter posiadać winien potencjał wewnętrzny, zależny od przekształceń, którym podlega ośrodek. Otóż hipoteza podobnego eteru napotyka na poważne trudności.

Aby drobne ruchy takiego ośrodka mogły wyjaśnić nam istotę zjawisk świetlnych, potrzeba, aby w ośrodku nie mogły rozchodzić się drgania podłużne, natomiast drgania poprzeczne powinny rozchodzić się w nim z prędkością światła. Lecz ośrodek sprężysty, posiadający tę podwójną własność: przenoszenia drgań poprzecznych z prędkością skończoną i nie przenoszenia drgań podłużnych, jest ośrodkiem, którego istnienia zrozumieć nie możemy; gdybyśmy wzięli jakąś część tego ośrodka i gdybyśmy próbowali utrzymać ją w równowadze za pomocą ciśnień stałych, przyłożonych do powierzchni ograniczającej, otrzymalibyśmy tylko stan równowagi niestałej.

Jeżeli chcemy tedy dać wyjaśnienie mechaniczne zjawisk świetlnych, musimy ośrodkowi eterowemu, mającemu roznosić światło, przypisać budowę znacznie odmienną od nadawanej mu przez geometrów w początkach XIX stulecia.

W. T h o m s o n wymyślił ¹⁾ eter, zupełnie różny od eteru swoich poprzedników. Jego eter składa się z małych mas stałych, różnych od siebie i nie wywierających wzajemnie na siebie żadnej siły rzeczywistej, tak że potencjał wewnętrzny ośrodka jest zawsze zerem. Każda z tych małych mas obraca się z wielką prędkością około osi, przechodzącej przez jeden z jej punktów, na sposób małego gyroskopu F o u c a u l t a; ruch ten wytwarza parę bezwładności, usiłującą odchylić oś obrotu, nie krępując bynajmniej ruchu, skutkiem którego oś ta przesuwana się równolegle do siebie samej. Zbudowany w ten sposób eter a d y n a m i c z n y i g y r o s t a t y c z n y jest nieograniczenie ściśliwy, lecz reaguje na wszelką przyczynę, usiłującą nadać ruch obrotowy którejkolwiek z jego części. Nie przenosi on fal podłużnych, fale zaś poprzeczne przenosi z wielką szybkością skończoną, jak tego wymaga teoria światła.

Pomysł eteru adynamicznego i gyrostycznego zasługiwałby bezwątpienia na rozbiór głębszy. Czy hipoteza ta zaleca się istotnie zaletami, jakie się jej przypisuje? Czy wolna jest od zarzutów, dotyczących stałości, którym podlegała hipoteza eteru sprężystego? Czy nie ogranicza się na tem, iż pomija milczeniem zbadanie kwestyi stałości, która w tym zresztą przypadku nie nadaje się do traktowania przy pomocy metody ściślej? Tyle tu jest pytań, nad którymi wartoby zastanowić się, gdybyśmy chcieli poddać rozbiorowi teorię W. T h o m s o n a. Lecz nie wchodzi to w zakres naszego zadania; wspominamy o tej teorii jedynie jako dla tego, że stanowi to przygotowanie do poniższych uwag o Mechanice H e r t z a.

Mechanika H e r t z a jest w samej rzeczy rozszerzeniem na Wszechświat fizyczny pomysłów, które W. T h o m s o n zastosował do samego eteru ¹⁾.

¹⁾ W. T h o m s o n. „On a gyrostatic adynamic constitution for „Ether“ (Edinburgh Royal Society Proceedings 17 marca, 1890: Scientific Papers t. III, str. 467).

¹⁾ H. H e r t z. „Die Principien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt“ Lipsk 1894. Patrz co do tego przedmiotu H. P o i n c a r é „Les idées de Hertz sur la Mécanique (Rev. gén. der sciences 8, s. 734, 1897).

W Mechanice swej Hertz usuwa zupełnie siłę rzeczywistą. Świat jest utworzony z ciał, których każdy element posiada masę niezmienną i prędkość zmienną. Dla każdego z tych elementów można tedy rozważać prostą, skierowaną w zwrocie przeciwnym do przyspieszenia, o długości, równej iloczynowi przyspieszenia przez masę elementu. Wielkości tej można słownie nadać nazwę siły bezwładności; można też dla każdej chwili w sposób zwykły utworzyć siłę żywą układu; z wyrażenia tej ostatniej wyprowadzamy także rozmaite siły bezwładności przy pomocy wzorów Lagrange'a.

Rozmaite ciała, poddane rozważaniu, podlegają połączeniom; tu, jak i w Mechanice Lagrange'a, przesunięcie przygotowane jest przesunięciem nieskończenie małym, zachowującym połączenie bez zmiany.

Oto postulat podstawowy, z którego ma być wyprowadzona cała Mechanika: W każdej chwili siły bezwładności, przyłożone do układu niezależnego są takie, że wszelkie przesunięcie przygotowane, nadane układowi, zmusza je do wykonania pracy równej zeru.

Hertz—co prawda—wypowiada ten postulat w pewnej formie oryginalnej, która zdaje się być bardzo różna od poprzedzającej; lecz różnica ta jest czysto zewnętrzna i jest, że tak powiemy, różnicą wystowienia; hipoteza zasadnicza Herta i ta, którą wyżej sformułowaliśmy, przekładają się ściśle na jedne i te same równania.

Równania te mają postać, nadaną przez Lagrange'a równaniom Dynamiki; tylko nie występuje w nich żadna siła rzeczywista; siły, występujące w nich, są czystymi wyrażeniami matematycznymi, siłami fikcyjnymi, jak siły bezwładności lub siły połączenia.

W jaki to sposób przy pomocy tych równań, nie dopuszczających żadnej siły rzeczywistej, ani zewnętrznej, ani wewnętrznej, będzie można zdać sobie sprawę z ruchów, które przedstawiamy zwyczajnie przez równania te same formy, ale odnoszące się do sił rzeczywistych? Wszędzie, gdzie w równaniach ruchu układu występują siły, uważane dotąd za rzeczywiste, zachowane będą wyrazy, wyobrażające te siły, lecz wyrazy te będą teraz wyobrażały siły

fikcyjne, siły bezwładności, wytworzone przez ruchy ukryte, lub siły połączenia, wypływające z obecności mas ukrytych. Innemi słowy, zastosowana tu będzie w sposób zupełnie ogólny metoda, użyta przez M a x w e l l a do objaśnienia działań elektrodynamicznych. Powstanie tym sposobem Mechanika, w której będą jeszcze rozważane czas, figury, ruchy i masy, ale z której wygnano całkowicie pojęcia siły; Mechanika, zdolna zadowolić filozofów atomistów, uczniów G a s s e n d i ' e g o i H u y g e n s a. „Lecz największa trudność, powiada H u y g e n s ¹⁾, polega na wykazaniu, w jaki sposób tyle rzeczy różnych powstało z tych jednych zasad.“

W rzeczy samej, wartość teorii mechanicznej można ocenić dokładnie dopiero wtedy, gdy wejdziemy z nią w szczegóły zjawisk; doktryna taka, której zasady ogólne są bardzo piękne i logicznie ze sobą powiązane, gubi się w nierozwikłalnych komplikacjach, w niepochwytnych subtelnosciach, gdy chce porównać wyniki swych dedukcyj z najmniejszym z praw przyrodzonych. Fizyka Newtonowska była zadziwiającą budowlą, gdy B o s c o v i c h kreślił plan jej całości; zachwiała się, gdy P o i s s o n zachciał wydobyć z niej wyjaśnienie zjawisk włoskowatych.

Śmierć nie pozostawiła H e r t z o w i czasu na zastosowanie jego zasad ogólnych Mechaniki do zagadnień szczegółowych. „Jest on zmuszony przyjąć — powiada H e l m h o l t z ²⁾ — że istnieje wielka liczba mas niedostrzegalnych i ruchów niewidzialnych tych mas, aby wyjaśnić istnienie sił pomiędzy ciałami, nie będącymi w bezpośrednim zetknięciu. Niestety, nie podał wszakże pojedynczych przykładów, wskazujących jak rozumiał te hypotetyczne wyrazy pośrednie. Widoczna, że trzeba jeszcze wielkiego wysiłku wyobraźni naukowej, aby tym sposobem wyjaśnić choćby najprostsze przypadki sił fizykalnych“.

¹⁾ H u y g e n s. „Discours de la Cause de la Pesanteur“ (Przedmowa). Lipsk, wyd. Burckhardta str. 94.

²⁾ H. v. H e l m h o l t z w przedmowie do dzieła H e r t z a: „Die Principien der Mechanik“.

Nie znalazł się dotąd żaden pracownik, któryby dokonał zadania, którego Hertz spełnić nie mógł. Boltzmann na początku swych „Wykładów o teorii gazów“ powiada: „W rozważaniu uderzania się cząsteczek zachowamy dawne rozróżnienie pomiędzy energią potencjalną a kinetyczną. Rozróżnienie to atoli nie sięga do istoty rzeczy. Założenia, jakie uczynimy o działaniu wzajemnem cząsteczek w czasie uderzenia, mają charakter zupełnie tymczasowy i ustąpią napewno później miejsca założeniom innym. Chwilowo miałem nawet zamiar naszkicowania teorii, w którejby, zamiast sił działających w czasie uderzeń, występowały proste równania warunkowe (w sensie „Mechaniki“ Hertz a), ogólniejsze od równań uderzenia sprężystego; ale odstąpiłem od tego zamiaru z powodu konieczności wprowadzenia w takim razie nowych dowolnych założeń“.

Nie stosowana dotąd aż do jądra zjawisk szczegółowych, nie posunięta aż do wyznaczenia mas ukrytych i ruchów ukrytych, mających wyjaśnić tę lub ową siłę, uważaną niesłusznie za działanie rzeczywiste, Mechanika Hertz a jest dziś raczej projektem, programem doktryny, aniżeli samą doktryną. Program ten w sobie sprowadza się zresztą ostatecznie do twierdzenia następującego: Wszystkie siły, które wprowadzamy zwykle do równań Dynamiki, mogą być uważane jako siły połączenia, pochodzące od pewnych ciał hypotetycznych, albo od sił bezwładności, wytworzonych przez pewne ruchy przypuszczalne. Aby twierdzenie takie miało pewną doniosłość, potrzebaby, aby łączyło się z niem wskazanie metody, nadającej się do wyznaczenia tych sił i tych ruchów, gdy znamy siły, które one zastąpić mają. Otóż takiego wskazania niema.

Mechanika Hertz a pozostawia tedy zupełnie nieokreślonymi ruchy ukryte i masy ukryte, mające wyjaśniać siły Przyrody. W jaki sposób mogłaby ona w tych warunkach wykazać, że pewna siła nie daje się wyjaśnić przez te masy i te ruchy? W doświadczeniu trudnoby było znaleźć argumenty, przekonywające o błędzie tego, kto wierzy w Mechanikę Hertz a.

¹⁾ L. Boltzmann, Vorlesungen über Gastheorie. Lipsk 1896.

2. Atom — wir.

Mechanika H e r t z a usuwa z wyjaśnienia Świata fizycznego pojęcie siły, uważane za pierwsze i nieprzywiedlne. Czy jest to kres, na którym zatrzymać się koniecznie muszą geometrowie w swych długich usiłowaniach sprowadzenia do minimum liczby elementów zasadniczych wszelkiej teorii fizycznej? Czy nie mogą oni posunąć jeszcze dalej swej roboty upraszczania? W większości teoryj, usiłujących wyjaśnić mechanicznie zjawiska fizyczne, zakłada się postulat o istnieniu małych ciał, nie dających się dzielić i przenikać, obdarzonych masą atomów. Czy to pojęcie atomów, obdarzonych masą, nie mogłoby z kolei utracić swego charakteru pierwotności i nieprzywiedlności?

Odpowiedź na to pytanie dał W. T h o m s o n, a przygotowały ją postępy hydrodynamiki, które zawdzięczamy C a u c h y'emu i H e l m h o l t z o w i.

Rozważmy ośrodek ciągły, pozostający w ruchu, a w nim bardzo małą cząstkę materii, którą myślą rozcinamy w otaczającym ją łonie. W chwili danej cząsteczka ta ma pewną postać i zajmuje pewne położenie; po upływie pewnego bardzo krótkiego czasu ma ona figurę nieco odmienną i zajmuje położenie różne od poprzedniego. C a u c h y poddał analizie zmianę nieskończenie małą, przez którą ta cząsteczka materialna przechodzi z pierwszego stanu do drugiego; zmianę tę rozłożył on na zmiany elementarne, z których każda łatwo pojąć się daje.

Aby przeprowadzić cząsteczkę materialną z pewnego stanu do innego bardzo zbliżonego, należy najprzód przez jeden z punktów materialnych, który sobie obrać w niej możemy, przeprowadzić trzy proste, wzajemnie do siebie prostopadłe, które w danej chwili są osiami głównymi rozszerzenia cząsteczki; materii, która ją tworzy, nadajemy rozszerzenie jednostajne i nieskończenie małe w kierunku osi pierwszej, potem drugie w kierunku drugiej, wreszcie trzecie w kierunku trzeciej osi te trzy rozszerzenia główne nie są równe; ich sumę stanowi rozszerzenie sześciennne, które jest zerem, gdy środek jest nieściśliwy.

Trzy rozszerzenia głównie, udzielone kolejno cząsteczce, dają zmianę postaci jakiej ona podlega; pozostaje jeszcze zbadać zmianę położenia. Przez punkt poprzednio obrany, prowadzimy pewną prostą, która dla danej chwili jest osią chwilową obrotu cząsteczki, i obracamy całą cząsteczkę około tej prostej na kąt nieskończenie mały; dzieląc ten kąt nieskończenie mały przez czas nieskończenie mały trwania zmiany całkowitej, otrzymujemy prędkość obrotu chwilowego.

• Wreszcie przesuwamy całą cząsteczkę tak, aby w tem przesunięciu wszystkie jej punkty opisały trajektorje nieskończenie małe, równe i równoległe.

Do tej pory robiliśmy tylko Geometrię, a właściwie Kinematykę; przejdźmy teraz do Mechaniki.

Wyobraźmy sobie płyn ciągły, nieściśliwy, nie lepki, o temperaturze jednostajnej i stałej; ruchy tego płynu ulegają równaniom, które d'Alambert wywiódł ze swej sławnej zasady, a którym Euler nadał postać ostateczną. Dajmy, że małe części, na którą myślą podzieliśmy ten płyn, nie podlegają żadnej sile, albo przynajmniej nie podlegają żadnemu z tych rodzajów sił, uwidoczionych przez Clairauta, a których istota wyłącza dla płynu wszelką możliwość równowagi. W płynie takim prędkości obrotu różnych cząsteczek podlegają prawom, odznaczającym się niezwykłą prostotą.

Oto pierwsze z nich, odkryte przez Lagrange¹⁾: Jeżeli prędkość obrotu chwilowego pewnej cząsteczki jest zerem w jakiegokolwiek chwili ruchu, to pozostaje zawsze zerem.

Aby dowieść z całą ścisłością tego twierdzenia Lagrange'a, Cauchy¹⁾ w r. 1815 utworzył równania nadzwyczaj ważne, których interpretacya mechaniczna przez długi czas pozostała nie-

¹⁾ Lagrange. „Mécanique analytique“ wyd. 2-gie. część 2-ga sekcya XI, § 1, art. 17.

¹⁾ A. Cauchy. Mémoire sur la théorie de la propagation des ondes à la surface d'un fluide pesant de profondeur indéfinie; praca, odznaczona nagrodą przez Akad. Nauk. (Mémoires des Sav. Étrang. I, p. 3, 1827, OEuvres de Cauchy t. I).

zauważona; dopiero Helmholtz¹⁾ w r. 1858, stosując inną metodę, znalazł klucz do tej interpretacji.

Oś chwilowa obrotu cząsteczki w chwili danej, przedłużona o długość małą, przechodzi przez drugą cząsteczkę, sąsiadującą z pierwszą; oś chwilowa tej drugiej cząsteczki, przedłużona w tej samej chwili o długość nieskończenie małą, spotyka trzecią cząsteczkę, i tak dalej. Wyznaczamy tym sposobem w łonie płynu w chwili uważanej ciąg cząsteczek, sąsiadujących jedna z drugą i następujących po sobie wzdłuż linii krzywej, jakby perły naszyjnika wzdłuż nici, na które są nanizane; styczną tej linii krzywej w każdym z jej punktów jest oś chwilowa obrotu cząsteczki, do której ten punkt należy. Mówimy wtedy, że ta linia krzywa w chwili uważanej jest linią wirową.

Śledźmy teraz w łonie poruszającego się płynu zmiany naszego ciągu cząsteczek. Nasz naszyjnik odkształca się i przesuwa; faluje on w przestrzeni, nie przerywając nici wiążącej perły; i oto własność zasadnicza, jaką posiada krzywa, którą nic te kreśli: była linią wirową w chwili, gdy ją kreśliłiśmy i pozostaje taką przez cały czas trwania ruchu; styczna, jaką do niej prowadzimy w jakimkolwiek z jej punktów, znaczy nam zawsze oś chwilową obrotu cząsteczki, znajdującej się w tym punkcie.

Weźmy na linii wirowej dwie cząstki, mało odległe, i śledźmy je w ruchu; w każdej chwili mierzymy z jednej strony prędkość kątową obrotu, która jest im prawie wspólna, z drugiej strony ich odległość wzajemną; te dwie wielkości zmieniają się w jednym zwrocie; gdy dwie cząsteczki przyśpieszają swój ruch obrotowy, wtedy oddalają się; gdy obracają się w niej szybko, zbliżają się, stosunek ich prędkości chwilowej obrotu do wzajemnej odległości pozostaje niezmienny.

W łonie płynu i w chwili danej weźmy małą powierzchnię; przez każdy jej punkt poprowadzimy linię wirową, która przechodzi przezeń w tej chwili; linie te utworzą ściankę pewnego rodzaju rurki bardzo cienkiej, rozciągającej się w ma-

¹⁾ Helmholtz, Ueber Integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche den Wirbelbewegungen entsprechen (Crelle's Journal 55, p. 25, 1858, Abhandlungen 1, p. 101).

się płynnej; rurka ta już to rozszerza się, już zwęża; nazwijmy ją wraz z Helmholtzem, rurką wirową. Na mocy własności linii wirowych można bezpośrednio spostrzedz pewne własności rurek wirowych, a w szczególności własność ich zasadniczą; w istocie jest jasnym, że masa płynna, zawarta w chwili danej w rurce wirowej, pozostaje przez czas nieograniczony zawarta w rurce wirowej; z zachowania linii wirowych wynika zachowanie rurek wirowych.

Jeżeli w rurce wirowej poprowadzimy w chwili danej dwa przekroje proste bliskie sobie, punkty materialne tych dwóch przecięć tworzyć będą ciągle przecięcie proste tejże samej rurki wirowej. Według powyższego odległość wzajemna tych dwóch przecięć zmieniać się będzie proporcjonalnie do prędkości kątowej płynu, jaki się pomiędzy nimi zawiera. Lecz płyn ten jest nieściśliwy; objętość, którą zajmuje pomiędzy dwoma przecięciami prostymi, pozostaje niezmienna; a więc podstawa tego walca zmienia się w stosunku odwrotnym do wysokości. Widzimy tedy, że część rurki wirowej, odpowiadającej określonej masie płynnej, wydyma się, gdy prędkość kątowa zmniejsza się; opada zaś, gdy płyn obraca się prędzej; pole przecięcia prostego jest odwrotnie proporcjonalne do prędkości chwilowej obrotu.

Prawo to zakłada, że rozważamy w czasie danym też samą część materialną rurki wirowej. Znajdujemy prawo analogiczne rozważając w jednej i tej samej chwili różne części rurki wirowej; stwierdzamy, że rurka rozszerza się w tych miejscach płynu, gdzie prędkość obrotu chwilowego jest mniejsza, zwęża się zaś w tych miejscach, gdzie ta prędkość jest znaczna; wzdłuż rurki iloczyn prędkości kątowej przez pole przecięcia zachowuje wartość stałą.

Z prawa tego wynika wniosek zasadniczy: rurka wirowa nie może kończyć się wewnątrz masy płynnej. W samej rzeczy, by mogła tak zwęzić się w punkcie, aby przecięcie jej było zerem, należałoby, by prędkość kątowa obrotu była nieskończona w tym punkcie krańcowym. A zatem rurka wirowa albo przechodzi przez wszystkich płyn i kończy się na granicach ośrodka, lub też zamyka się w sobie jak pierścień.

Te godne uwagi twierdzenia Helmholtza pobudziły W. Thomsona¹⁾ do obmyślenia w r. 1867 hipotezy atomów-wirów.

Jedyna materya wypełnia Wszechświat; materya ta, jednorodna i nieściśliwa, podlega w ruchach swych prawom, które równania Eulera przepisują dla płynów doskonałych; na początku siły, niezgodne z równowagą jakiegokolwiek płynu, wprawiły materyę tę w ruch i utworzyły w szczególności mnogość pierścieni wirów wszelkiej postaci i wszelkich rozmiarów; później siły te znikły, pozostawiając w świecie tylko siły pozorne, dające się wyjaśnić przez ciśnienie, i siły bezwładności płynu powszechnego; siły te nie mogą ani wytworzyć nowych pierścieni wirowych, ani zniszczyć tych, które przedtem istniały, ani przeciąć żadnego z wirów na dwa lub więcej pierścieni; każdy z tych pierścieni stał się prawdziwym atomem fizycznym. Materya, podpadająca pod zmysły nasze, jest złożona z takich pierścieni wirowych.

Ta hipoteza W. Thomsona ma najwyższy stopień prostoty, do jakiej dojść może wyjaśnienie zjawisk przyrodzonych; siła rzeczywista wygnana została z wszechświata aktualnego, w którym odnajdujemy tylko siły pozorne, skutki bezwładności i połączeń; rozmaitość pierwiastków, o której mówi Chemia, jest tylko złudzeniem. Hipoteza ta ujawnia zmysłom naszym jedynie różne postaci i różne ruchy pierścieni wirowych płynu wszędzie identycznego z samym sobą.

Lecz hipoteza W. Thomsona tak głęboko zachodzi poza pozory zmysłowe, że niełatwo wznieść się od niej ku tym ostatnim i otrzymać wyjaśnienie faktów, napotykanych codziennie. Najprostsze z nich zdają się być bez związku z podstawami teoryi. Siły fikcyjne, wytwarzające ciśnienie płynu, w którym zachodzą wiry, nie tłumaczą nam ciężenia powszechnego; aby to ostatnie wyjaśnić, musiał Thomson uciec się do hipotez, podobnych do hipotezy Lesage'a.

I zasady Mechaniki nie dają się wyprowadzić z własności

¹⁾ W. Thomson. On Vortex-Atoms (Edinburgh Philosophical Society Proceedings, 18 lutego 1867).

pięścieni wirowych, i niewiadomo—zauważył to M a x w e l l ¹⁾—gdzie szukać w atomie wirowym elementu niezmiennego, któryby należało poczytywać za jego masę.

3. Uwagi ogólne o wyjaśnieniach mechanicznych.

Te i inne trudności, które wyliczać byłoby zbyt długo, wskazują, że czas zatrzymać się; że dłużej nie należy zajmować się temi próbami, mającemi za cel zmniejszenie stopniowe liczby pojęć pierwotnych, na których spoczywa Fizyka. Tak np. teoria atomów-wirów zwróciła nas prawie ku doktrynom D e s c a r t e s ' a . Jedyne ciało, którego istnienie zakłada W. T h o m s o n , ten płyn doskonały, jednorodny i nieściśliwy, wypełniający przestrzeń, nie posiadający innych własności, prócz własności poruszania się w zgodzie z równaniami hydrodynamicznymi E u l e r a , jest niezawodnie blizkim krewnym owej rozciągłości na długość, szerokość i głębokość, nadającej się dla wszelkich rodzajów figur i ruchów, a stanowiącej materię kartezyańską.

Możnaby jeszcze dalej posunąć asymilację. I byli tacy, co odważyli się na to. Ponieważ płyn W. T h o m s o n a posiada jedynie tę własność, że jest w przestrzeni podkładem dla prędkości zmiennych według pewnych wzorów, dlaczegożby nie pójść jeszcze dalej: usunąć go zupełnie, zaprzeczyć mu wszelkiego istnienia substancjalnego, słowem, sprowadzić go do czystej rozciągłości? Masa atomu-wiru—w przypuszczeniu, że znaleźliśmy właściwą jej definicyę—byłaby tedy tylko symbolem, wyrażeniem matematycznym, skombinowanem z postaci i ruchu atomu; stałość jej byłaby nie przekładem na język matematyczny zachowania substancji materialnej, lecz wynikiem pewnego trwałego rozdziału prędkości obrotowych; dla atomu tego nie byłoby już prawdziwem powiedze-

¹⁾ M a x w e l l . Art. „Atom“ w „Encyclopaedia Britannica“. B r i l l o u i n , Recherches récentes sur diverses questions d'Hydrodynamique, 1-re partie: Tourbillons, Paryż 1891.

nie, że „prawo fizyczne zachowania masy przerodziło się¹⁾ na aksjomat metafizyczny zachowania materii.“ Od tej chwili dlaczegoż mielibyśmy przypisywać więcej rzeczywistości samej materii płynu, w którego łonie tworzą się wiry? Dlaczegoż nie mielibyśmy utożsamić go z przestrzenią, zbiornikiem pewnych prędkości i pewnych sił żywych? Dlaczegoż nie mielibyśmy sprowadzić całej Mechaniki do badania „rozciągłości i jej zmian zupełnie gołych“, zmian, które pozostawiają niezmienną w świecie całkowitą ilość Energii? Tym sposobem doszlibyśmy do nowej doktryny, która pozyskała rozgłos jako *teoria migracji Energii*²⁾.

W chwili, gdy porzucamy ład stały Mechaniki tradycyjnej, by unieść się na skrzydłach marzenia w dziedzinie tej Fizyki, która umiejscawia zjawiska w rozciągłości, pozbawionej materii, doznajemy zawrotu; wtedy ze wszystkich sił naszych uczepiamy się stałego gruntu zdrowego rozsądku; albowiem cała nasza wiedza naukowa, nawet najwyższa, nie posiada ostatecznie innego gruntu jak tylko w danych zdrowego rozsądku³⁾; jeżeli zwątpimy o pewności tego rozsądku, wtedy cała budowa prawd naukowych zachwieje się w swych fundamentach i runie.

Trwać więc będziemy w przyjęciu, że wszelki ruch opiera się na czemś, co ruchowi podlega; że wszelka siła żywa jest siłą żywą materii. „Uderzono was kijem—powiada Ostwald⁴⁾—co czujecie, kij czy energię?“ Odpowiemy, że odczuwamy energię kija, lecz wnioskować nie przestaniemy, że istnieje kij, nośnik tej energii. Nie zapomnimy zresztą, że energia ta, znajdująca się w pewnych miejscach przestrzeni, przenosząca się z jednego ob-

¹⁾ W. Ostwald. La déroutte de l'atomisme contemporain (Rev. gén. des Sciences, 6, str. 954, 1895).

²⁾ O tej doktrynie patrz artykuł poprzedzający W. Ostwalda; dalej Brillouin: „Pour la matière“ (Rev. gén. des Sciences, 6, str. 303, 1895) i W. Ostwald, Lettre sur l'Énergetique (Rev. générale des Sciences, 6, str. 1069, 1895).

³⁾ P. Duhem. Quelques réflexions au sujet de la Physique expérimentale (Revue des Questions scientifiques, 2 série, 3, 1894).

⁴⁾ W. Ostwald. La déroutte de l'atomisme contemporain (Rev. gén. des sciences 6, str. 937, 1895).

szaru do drugiego, jest osobiwie podobna do materji, która wy-
parła się swego imienia, lecz nie mogła zmienić swej istoty, Po-
zostaniemy zatem poza doktrynami, dla których istnienie substan-
cjalne obdarzonych masą różnych materji jest złudzeniem, i za-
trzymamy się w rozbiórce naszym przed granicą, której nawet
Hertz nie przekroczył.

Próby, mające na celu wyjaśnienie mechaniczne zjawisk fi-
zycznych we Wszechświecie, dzielą się wyraźnie na dwie kate-
gorye.

Próby kategorii pierwszej prowadzone są według metody,
którą słusznie nazwać można *metodą syntetyczną*.

W metodzie tej zaczynamy od budowania mechanizmu ze
wszystkich jego części; mówimy, jakie składają go ciała, jaka jest
ich postać, wielkość i masa, jakie siły na nie działają; z tych da-
nych wyprowadzamy prawa, według których mechanizm się po-
rusza; porównywając wtedy prawa te z prawami doświadczalnymi,
które chcemy wyjaśnić, oceniamy, czy istnieje pomiędzy niemi
zgodność dostateczna.

Tę metodę jedynie stosowano przez czas długi. Jej to za-
wdzięczamy najświetniejsze z teoryj mechanicznych: teoryę Des-
carte's'a przyciągań i odpychań magnetycznych; wyjaśnienie
ciężkości przez wiry, t. j. teoryę zasadniczą Fizyki kartezyańskiej,
którą wydoskonalił Huygens; próbę Fatio de Duillersa
i Lesage'a sprowadzenia ciężenia do pobudzeń, jakich doznają
cząsteczki materialne od atomów „nadświatowych“; teoryę cie-
płota, jaką rozwija Laplace w swej „Mechanice niebieskiej“;
różne teorye kinetyczne gazów; eter gyrostatyczny W. Thom-
sona; konstrukcyje komórek, przy pomocy których Maxwell
usiłował wyjaśnić zjawiska elektromagnetyczne; rozmaite mecha-
nizmy, wymyślone w ostatnich czasach przez Lorentza, Lar-
mora, J. J. Thomsona, Langevina, Jana Perrina
i innych w celu wyjaśnienia rozmaitych skutków światła, elektrycz-
ności i nowo-odkrytych promieniowań.

We wszystkich epokach od odnowienia nauk fizycznych,
a zwłaszcza w epoce naszej, ta *metoda syntetyczna* napo-
tykała na opór w pewnych umysłach; charakter ryzykowny hypo-
tezy, na których spoczywa każde z tych wyjaśnień; forma nieco

dziecinna mechanizmów, które musi wyobrażać sobie poza pozorami zmysłowemi, stanowiły słabą ich stronę, wystawioną na szyderstwa. „Należy powiedzieć z gruba: robi się to przy pomocy figur i ruchu“, powiedział P a s c a l. Lecz powiedzieć to i budować maszynę to śmieszne, bo jest to i nieużyteczne i niepewne i uciążliwe.“ N e w t o n zaś, wygłaszając swoje sławne „H y p o t h e s s n o n f i n g o“ rozumiał przedewszystkiem, że mechanizmy kartezjańczyków i atomistów wyrzuca poza dziedzinę swych spekulacyj.

W oczach wielu fizyków metoda syntetyczna zdaje się wcale nie nadawać do zupełnego wyjaśnienia mechanicznego zjawisk przyrodzonych; dziś domagamy się takiego wyjaśnienia o d m e t o d y a n a l i t y c z n e j.

Jest to ta metoda analityczna, którą M a x w e l l określił w przedmowie do swojego „Traktatu Elektryczności i Magnetyzmu“ i którą starał się przeprowadzić w tem dziele. Sprowadza ona najprzód prawa zjawisk fizycznych do wzorów ogólnych; potem, nie stawiając żadnej hipotezy o naturze ruchów, przez które zjawiska te dałyby się wyjaśnić, daje wzorom tym wygląd, ujawniający ich analogię z równaniami pewnych ruchów.

Jeżeli wzory, z którymi mamy tu do czynienia, mogą być przedstawione w postaci, nadanej przez L a g r a n g e'a równaniom Dynamiki, wtedy rzeczy będą miały się dobrze. Można sprawić, że wielkościom, charakteryzującym poddany doświadczeniu układ fizyczny, będą odpowiadały zmienne i prędkości, wyznaczające postać i ruch pewnego układu mechanicznego w ten sposób, iż prawa, rządzące przekształceniami obu układów, wyrażają się temi samymi równaniami. Części i związki układu mechanicznego wyjaśnią nam wtedy własności układu fizycznego.

Jeżeli nawet wzory, zgęszczające prawa zjawisk badanych doświadczalnie, nie dają się odlać w formie, wyźłobionej dla nich przez L a g r a n g e'a, metoda analityczna nie stanie się mimo to bezskuteczna; aby upodobnić te wzory do równań Dynamiki, przypuści ona, że układ zawiera masy niedostrzegalne i ruchy ukryte, ponieważ wszakże nic nie określa ani nie ogranicza natury, liczby i złożoności tych mas i tych ruchów, zdaje się przeto, że żaden rodzaj wzorów nie będzie mógł być uważany za nieprzywiedlny

do równań Dynamiki. Jakiegokolwiek będą te wzory, zawsze będzie wolno mieć nadzieję, że dadzą one sprowadzić się do równań Mechaniki, już to ściśle, już to z dowolnym przybliżeniem.

Co więcej: przyjęcie tych mas i tych ruchów ukrytych pozwoli, jeżeli chcemy, usunąć wszelką siłę rzeczywistą i pozostawić jedynie siły bezwładności i siły połączenia. Tu jeszcze nieoznaczoność bezwzględna, pozostawiona masom i ruchom ukrytym, upewnia nas, że w usiłowaniach, zmierzających ku rozwiązaniu tego zagadnienia, nie powstrzyma nas żaden geometra, wykazujący nam, że rozwiązanie to nie może być otrzymane ani ściśle, ani przybliżenie.

Bez względu więc na to, czy metoda analityczna stara się o wyjaśnienie zjawisk fizykalnych, sprowadzając je wprost do Mechaniki, w której pojęcia ruchu, masy i siły są uważane za pojęcia pierwsze, czy też usiłuje dać to wyjaśnienie bez uciekania się do pojęcia siły, w jednym i drugim przypadku nie ma takiego prawa pochodzenia doświadczalnego, o którym mogłaby twierdzić, że nie nadaje się do podobnego wyjaśnienia.

Odtąd, dla fizyka hipoteza, że wszystkie zjawiska dają się wyjaśnić mechanicznie, nie jest ani prawdziwa ani fałszywa; nie ma ona dla niego żadnego znaczenia.

Wyjaśnijmy to orzeczenie, które mogłoby wydać się paradoksalnym.

Istnieje jedyne kryterium w Fizyce, pozwalające odrzucić jako fałszywy, sąd, który nie ukrywa w sobie sprzeczności logicznej; jest nim stwierdzenie bijące w oczy niezgodności pomiędzy tym sądem a faktami doświadczenia. Kiedy fizyk orzeka prawdziwość jakiegoś twierdzenia, orzeka wtedy, że twierdzenie to zostało porównane z danymi doświadczeniami; że pomiędzy temi danymi znajdowały się takie, których zgodność z twierdzeniem, poddanem sprawdzeniu, nie była konieczna a priori; że odstępstwa pomiędzy temi danymi a tem twierdzeniem pozostały mniejsze od błędów doświadczenia.

Z mocy tych zasad wynika, że wygłaszając, iż wszystkie zjawiska świata nieorganicznego dają się wyjaśnić mechanicznie, nie wypowiadamy twierdzenia, które Fizyka mogłaby poczytać

za błędne, gdyż doświadczenie nie mogłoby wskazać nam żadnego zjawiska, które napewno byłoby nieprzywiedlne do praw Mechaniki. Ale nie jest uprawnionem powiedzenie, że twierdzenie to jest fizycznie prawdziwe, albowiem niemożliwość natknięcia się na sprzeczność formalną i nierozwiązalną z wynikami doświadczenia jest tylko konsekwencyą logiczną, płynącą z bezwzględnej nieoznaczoności, jaką pozostawiamy masom niewidzialnym i ruchom ukrytym.

Tak więc ten, kto trzyma się postępowania metody doświadczalnej, nie może uznać za prawdziwe następującego orzeczenia: Wszystkie zjawiska fizyczne wyjaśniają się mechanicznie. Nie może również uznać tego orzeczenia za fałszywe. Orzeczenie to jest przestępne dla metody fizycznej.

Jeżeli tedy co do tego twierdzenia chcemy wyjść ze stanu umysłowego, którym wszelka decyzja pozostaje w zawieszeniu, musimy uciec się do zasad, których nie zna metoda doświadczalna.

Zasady te mogą być dwóch rodzajów: mogą one polegać na argumentach, wydobytych z Metafizyki; mogą też, odpychając wszelkie roszczenia metafizyczne, uważać dogodność za motyw główny.

Descartes przy pomocy argumentów metafizycznych ustanawia konieczną redukcję wszystkich zjawisk fizycznych do „racyj Mechaniki“; ponieważ nie znajduje w pojęciu ciała żadnej jasnej idei, poza tem, co w tem pojęciu widzieć zwykli geometrowie, przeto w rozciągłości na długość, szerokość i głębokość widzi istotę materji; ponieważ materyja jest zasadniczo identyczna z przestrzenią, którą zajmują się geometrowie, przeto do zdrowej Fizyki nie należy wprowadzać niczego, prócz różnych figur i ruchów. Widoczna, że wychodzi na to samo podnieść jeden funt na dwieście stóp wysokości, co dwa funty na sto stóp; na tej oczywistości opiera się cała Statyka. Niezmiennność boska upewnia nas, że Stwórca zachowuje zawsze w dziele swem tę samą ilość ruchu, którą włożył w nią na początku, a to zachowanie ilości ruchu jest pierwszą zasadą Dynamiki.

Dynamika Descartes'a, wydobyta z rozumowań metafizycznych, z trudnością godziła się z odkryciami Galileusza, doty-

czącemi spadku ciał ciężkich, i dlatego wkrótce Leibniz, zastępując zachowanie ilości ruchu zachowaniem siły żywej, mógł ogłosić rozprawę p. t. „*Demonstratio erroris memorabilis Cartesii*.” Od chwili odparcia tego pamiętnego błędu, żaden z filozofów, godny tej nazwy, nie próbował, jak sądzę, wyprowadzać pierwszych zasad Mechaniki z Metafizyki; dla wszystkich jest jasnym, że jedynie kontrola doświadczenia daje gwarancję wartości tych zasad; Metafizyka, które sama siebie uznaje za nieprzydatną do usprawiedliwienia tych zasad, nie potrafiłaby orzec, czy władza jej ogranicza się do samych ruchów widocznych, czy też rozciąga się na ogół zjawisk fizycznych.

Tak więc metoda metafizyczna, zarówno jak i metoda fizyczna, nie może odpowiedzieć na pytanie: „Jest li prawdą czy fałszem, że wszystkie zjawiska fizyczne dają się przywieść do ruchów miejscowych, poddanych prawom Dynamiki?”

Musimy tedy wyrzec się odpowiedzi na tak sformułowane pytanie, nie dopuszczając odpowiedzi, i zamiast niego postawić inne: Czy jest rzeczą dogodną dla wykładającego Fizykę, rzeczą pożyteczną dla pragnącego ją wzbogacić, sprowadzenie wszystkich zjawisk fizycznych do ruchu, sprowadzenie wszystkich praw fizycznych do równań Mechaniki?

W tej nowej postaci pytanie traci charakter bezwzględny, który miało dotychczas: jest teraz rzeczą jasną, że rozmaici fizycy będą mogli dawać rozmaite odpowiedzi, i że sama logika nie będzie w stanie nakazać komukolwiek z nich milczenia.

Stopień dogodności metody jest w rzeczy samej sprawą oceny osobistej; właściwości szczególne każdego umysłu, wykształcenie, które odebrał, tradycje, któremi jest przejęty, zwyczaje środowika, w którym żyje, wpływają w wysokim stopniu na tę ocenę. Od fizyka do fizyka wpływy te zmieniają się nadzwyczajnie: dla jednych będzie niezmiennie wytwornym i łatwym taki wykład Fizyki, który inni poczytywać będą za ciężki i niedogodny.

Badając stanowisko rozmaitych umysłów względem teoryj fizycznych, można podzielić je na dwie wielkie kategorie: kategorię umysłów *abstrakcyjnych* i kategorię umysłów *imaginacyjnych*.

Umysły abstrakcyjne zadawają się rozważaniem wielkości jasno określonych, których dostarczają metody pomiarów oznaczone, dające się wprowadzić według stałych prawideł do ścisłych rozumowań i dokładnych rachunków; nie zależy im na tem, aby wielkości te były wyobrażalne. Tacy są zadowoleni naprzykład, gdy określili termometr, który dla każdego natężenia ciepła daje odpowiedni stopień określony temperatury; gdy znają postać równań, wiążących tę temperaturę z innymi wymierzalnemi własnościami ciał, z gęstością, ciśnieniem, ciepłem topnienia, ciepłem parowania. Nie wymagają bynajmniej, aby ta temperatura dała się sprowadzić do siły żywej ruchu wyobrażalnego, ożywiającego cząsteczki i dającego się przedstawić na figurze. Byłoby tylko prawa Fizyki dały się zgłęcić w pewnej liczbie sądów oderwanych, wyrażalnych przez wzory matematyczne, zgadzają się chętnie na to, by sądy te odnosiły się do pewnych pojęć obcych Geometrii. Bez trudności godzą się z tem, że świat fizyczny nie daje się wyjaśnić mechanicznie.

Umysły i maginacyjne mają wymagania zupełnie odmienne. Dla nich „umysł ludzki¹⁾, obserwując zjawiska przyrodzone, obok wielu elementów pomieszanych, których rozdzielić nie może, widzi jeden element jasny, który, dla swej precyzyi, może być przedmiotem poznania prawdziwie naukowego. Jest to element geometryczny, odnoszący się do miejsca przedmiotów w przestrzeni, pozwalający na przedstawianie ich, kreślenie lub konstrukcyę przynajmniej w sposób idealny. Na element ten składają się wymiary i postaci ciał lub układów ciał, słowem to, co nazywamy ich konfiguracyą w chwili danej. Te formy, te konfiguracye, których części wymierzalne są odległościami lub kątami, już to zachowują się, przynajmniej przybliżenie, w przeciągu pewnego czasu i nawet utrzymują się w pewnych obszarach przestrzeni, tworząc to, co stanowi spoczynek; już to zmieniają się bez przerwy, lecz sposobem ciągłym, a ich zmiany miejsca są tem, co nazywamy ruchem miejscowym lub wprost ruchem“.

¹⁾ J. B.oussinesq. „Leçons synthétiques de Mécanique générale“, p. 1, Paryż 1889.

Te rozmaite konfiguracje ciał, ich zmiany od jednej chwili do drugiej—oto jedyne elementy, które może kreślić geometra; jedyne, które umysł imaginacyjny może sobie jasno przedstawić; one to zatem, według niego, stanowić mogą jedynie przedmiot nauki. Teorię fizyczną wtedy tylko uważać można za utworzoną, skoro sprowadziła badanie grupy zjawisk do opisu takich figur i takich ruchów miejscowych. „Do tej pory nauka ³⁾, uważana w swej części już zbudowanej lub gotowej do zbudowania, rosła od Arystotelesa aż do Descartes'a i Newtona od pojęć jakości lub zmian stanu, które wykreślić się nie dają, aż do pojęć form i ruchów miejscowych, które dają się kreślić lub widzieć“.

Fizyk imaginacyjny jest wtedy dopiero zadowolony, skoro wszystkie jakości różne ciał, przystępne jedynie rozważaniu abstrakcyjnemu i przedstawieniu liczbowemu, zastąpi przez kombinacje figur, uchwytnych dla intuicji geometrycznej i dających się wykreślać.

Czy teorie, dotychczas proponowane dla wyjaśnienia mechanicznego zjawisk fizycznych, dostarczają wyobraźni jego tych przedstawień figurycznych, poza którymi nie ma dla niego jasności?

Tak jest zapewne, o ile jest mowa o dawnych teoriach mechanicznych, utworzonych na drodze syntetycznej. U podstaw takiej teorii znajdują się określone hipotezy o postaci atomów i cząsteczek, o ich wielkości i działaniu; dość otworzyć książkę, w której znajduje się takie wyjaśnienie, czy nosi ona imię Descartes'a czy Maxwella, znajdziemy w niej rysunki przedstawiające wygląd, jaki przedstawiałyby tkanka ciał, gdyby wzrokiem można było ją przeniknąć do należytej głębokości.

Ale wartość tych, utworzonych przez syntezę i dających wyjaśnienie mechaniczne, teorii może być dziś wątpliwa. Jest rzeczą zupełnie jasną, że każda z nich nadaje się, co najwyżej, do przedstawienia jednego drobnutkiego fragmentu Fizyki i że tych przedstawień cząstkowych nie można złączyć ze sobą tak, aby wytworzyły wyjaśnienie spójne i logiczne Wszechświata nieoży-

¹⁾ J. Boussinesq. Théorie analytique de la Chaleur. T. I, p. XV, 1901.

wionego. Uciekamy się wtedy do metody analitycznej; grupujemy w jeden zbiór wzorów matematycznych prawa, którym podlegają jakości ciał i ich zmiany, i staramy się wykazać, że ten zbiór wzorów nie jest niezgodny z wyjaśnieniem mechanicznym zjawisk fizycznych.

Postępowanie takie — któż nie wie o tem — nie daje żadnego pożywienia wyobraźni, pragnącej wspomagać rozum, jeżeli nie przewodniczyć mu, w pojmowaniu zjawisk fizycznych; nie zadawała ono bynajmniej życzeń tych, którzy w jakościach i ich zmianach chcą pochwycić coś, co dałoby się kreślić i widzieć.

Ta metoda analityczna upewnia nas najprzód, że ustanowione prawa fizyczne nie są niezgodne z wyjaśnieniem mechanicznym; nie daje nam wszakże poznać w sposób wyraźny szczegółów tego wyjaśnienia; twierdzi ona, że to „z gruba dzieje się przy pomocy figury i ruchu“, lecz nie mówi przez jakie figury i ruch, nie „składa ona maszyny“, nie wskazuje nawet, w jaki sposób można ją złożyć; nie daje żadnego środka na to, aby z analizy równań badanych wydobyć plan mechanizmu, mającego działać zgodnie z temi równaniami. Dlaczegożby badacze imaginacyjni mieli łaskawiej przyjąć masy i ruchy, które pozostają u k r y t e m i, aniżeli potęgi u k r y t e dawnej Scholastyki?

Po drugie, metoda analityczna uwidocznia prawdę następującą: Jeżeli można utworzyć maszynę, nadającą się do wyjaśnienia pewnego zbioru praw fizycznych, to można zbudować nieskończenie wiele innych, które również dokładnie wyjaśnić potrafią tenże sam zbiór praw. „Jeżeli więc zjawisko pozwala na jedno wyjaśnienie zupełne mechaniczne, to pozwoli ono na nieskończenie wiele innych, które równie dobrze zdają sprawę ze wszystkich szczegółów, odstoniętych przez doświadczenie“. Pomędzy temi wszystkiemi wyjaśnieniami, zarówno dopuszczalnymi dla umysłu abstrakcyjnego, unosić się będzie umysł fizyka imaginacyjnego, wahając się, szukając rozstrzygającego argumentu, którego nie

¹⁾ H. P o i n c a r é. „Electricité et Optique“, t. I, Wstęp p. XIV. Paryż 1890.

odkryje nigdy, i znajdując jedynie dla kierowania swym wyborem pobudki, nie mające w sobie nic ogólnego ani nic bezwzględno.

Nakoniec, jeżeli metoda analityczna zapewnia, że ogół zjawisk fizycznych nadaje się do wyjaśnienia mechanicznego, to za to pozwala widzieć przede wszystkim i to, że wyjaśnienie takie, jeżeli ma być zupełnem, wymaga przybrania nadmiernego mnóstwa mas niewidzialnych oraz nieskończonej komplikacji ruchów ukrytych; można przewidzieć, że wyobrażenia najpotężniejsza nie zdoła przedstawić sobie wyraźnie mechanizmu świata i zgubi się oszołomiona w podobnym chaosie.

A więc metoda analityczna, która—zdaje się—jedynie doprowadza do logicznie zbudowanego wyjaśnienia mechanicznego praw Fizyki, okazuje się niezdolną do zadośćuczynienia wymaganiom fizyków imaginacyjnych, t. j. tych właśnie, którzy poszukują interpretacji mechanicznej zjawisk.

Fizycy, jeżeli za wszelką cenę pragną wyobrażać sobie jakości ciał w formach dostępnych wyobraźni geometrycznej, w figurach dość prostych, aby dały się malować na obrazie widzialnym jasno dla oczu wyobraźni, muszą wyrzec się nadziei, by wszystkie te przedstawienia dały się zjednoczyć w jeden układ spójny, w jedną naukę logicznie uporządkowaną. Potrzeba, „aby każdy obrał¹⁾ sposób rozumowania o świecie możliwie dokładny, a nadewszystko szybki, intuicyjny i płodny“.

Wielu przyjmuje to z rezygnacją. Zrzekają się oni klasyfikowania rozmaitych praw przyrodzonych w jeden ciąg, którego wszystkie wyrazy wiążą się wzajemnie w porządku nieomylnym i z dokładną ścisłością; wolą oni obmyślać mechanizmy, których gra przypomina mniej lub więcej dokładnie zjawiska już odkryte, a niekiedy pozwala podejrzewać nowe. Powracają wtedy do metody syntetycznej, od której nie żądają atoli Fizyki jednej i uporządkowanej, której ona dać im nie może. Dla każdej kategorii zjawisk obierają takie uszykowanie figur i ruchów, które jest więcej lub mniej szczęśliwem naśladowaniem, lub, wyrażając się

¹⁾ M Brillouin. „Pour la matière“ (Rev. gén. des sciences, t. 6, str. 1004, 1895).

słowami fizyka angielskiego, ich m o d e l e m¹⁾. Model ten składa się z organów możliwie konkretnych i dostępnych dla zmysłów; W. T h o m s o n nie waha się wprowadzać do swych schematycznych konstrukcyj sznurów i belek. Nie idzie już w samej rzeczy jedynie o utworzenie mechanizmu, któryby mógł być uważany za wyrażenie rzeczywistości, za odbicie tego, co stanowi *quid proprium* rzeczy materialnych, ale o to, aby umysłowi, który nie chce czystej abstrakcyi, dać pomoc w przedmiotach, które dają się dotykać, widzieć, rzeźbić i kreślić.

Elementy, składające model, nie tylko powinny być łatwo wyobrażalne i dlatego być podobne, o ile to możliwe, do ciał, które widzimy i z którymi codziennie mamy do czynienia, lecz powinny być zarazem nieliczne; rozkład, przez który są skombinowane, powinien być względnie prosty. Prostota ta, bez której byłyby one bez pożytku, sprawia, że model taki nie może przedstawiać rozległego zbioru praw przyrodzonych; użytek określonego modelu jest z konieczności bardzo ograniczony; każdy rozdział Fizyki wymaga konstrukcyi nowego mechanizmu, bez związku z mechanizmem, który i l u s t r o w a ł rozdział poprzedzający.

Ograniczona do takiej ilustracyi przez modele każdej grupy zjawisk, Fizyka mechaniczna może pozostać dla pewnych umysłów cenną pomocą, bez której prawa, wyrażone w oderwanych twierdzeniach, byłyby niełatwo i niezupełnie przystępne; może one podniecać ciekawość wielu i drogą analogii pobudzać do odkryć. Takim jest model elektrooptyczny L o r e n t z a, który doprowadził Z e e m a n n a do odkrycia działania pola magnetycznego na linie widma. Użytek modeli może stać się nawet konieczny pewnym geometrom, których władza abstrakcyi jest mniej potężna niż wyobraźnia; a pomiędzy nimi liczymy kilku największych fizyków naszego czasu, którzy podpisaliby się pod

¹⁾ O użytku, jaki Anglicy czynią stale z modelu w celach ilustracyi zjawisk fizycznych, patrz art. nasz „L'Ecole anglaise et les théories physiques“ (Rev. des Quest. scient. (2), t. II, 1893).

następującymi słowami W. T h o m s o n a; „Zdaje mi się ⁴⁾, że prawdziwy sens pytania: „Czy rozumiemy lub nie rozumiemy jakiego przedmiotu szczególnego z Fizyki, jest taki: Czy możemy zbudować odpowiadający mu model mechaniczny.... Dopóty nie jestem zadowolony ¹⁾, dopóki nie potrafię zrobić mechanicznego modelu przedmiotu; jeżeli mogę zrobić model, wtedy pojmuję; jeżeli zaś nie mogę zrobić modelu, nie pojmuję“.

Takie wymagania intelektualne, podobne uośsamianie wyrazów „p o j m o w a ć i w y o b r a ż a ć s o b i e“ zadziwiają niezmiernie, powiedziałbym, wprost gorszą tych, którzy mogą rozumieć ideę oderwaną bez pomocy wyobrażeń geometrycznych lub mechanicznych; tacy wszakże nie powinni pozbawiać innych tej pomocy, której wymaga natura ich umysłu; mogą oni powtórzyć za H e l m h o l t z e m następujące mądre słowa ²⁾: Fizycy angielscy, jak lord K e l v i n (W. T h o m s o n), w swej teorii atomów-wirów, jak i M a x w e l l, obmyślający układ komórek o wirującej zawartości, stanowiący podstawę jego próby mechanicznego wyjaśnienia zjawisk elektro-magnetycznych, znajdowali widocznie w takich wyjaśnieniach zadowolenie większe, aniżeli w przedstawianiu ogólnem faktów i ich praw przy pomocy układów równań różniczkowych Fizyki. Co się mnie tyczy, to muszę wyznać, że dotąd trzymałem się tego drugiego sposobu przedstawienia i czułem się wtedy najpewniejszy; atoli nie mam żadnych zasadniczych zarzutów przeciwko metodzie, jakiej trzymali się wymienieni wybitni fizycy.“

Ustępstwa te sięgają, jeżeli nie przekraczają już ostatniej granicy, możliwej w sprawie użytku w Fizyce modeli mechanicznych. Uprawnienie tego użytku jest natury czysto praktycznej, nie zaś logicznej. Szereg różnych modeli nie może być uważany za teorię fizyczną, bo brak mu tego, co stanowi samą istotę teorii, mianowicie jedności, wiążącej w porządek ścisły prawa różnych grup zjawisk. Nie może tedy a f o r t i o r i być

¹⁾ W. T h o m s o n. Lectures on molecular Dynamics, str. 132.

²⁾ W. T h o m s o n l. c. str. 270.

³⁾ H e l m h o l t z. Przedmowa do „Mechaniki“ Hertz a t. XXI.

wyjaśnieniem faktów, spostrzeganych w świecie nieorganicznym; może nam dawać ciekawe analogie, pogładowe i płodne pomiędzy prawami Fizyki a funkcjonowaniem pewnych mechanizmów; ale pamiętajmy, że według starego przysłowia: *comparaison n'est pas raison*.

Ci zatem, którzy wyrzekają się używania modeli mechanicznych, zaznaczają przez to wyraźnie, że zrzekają się „pojmowania przyczyny wszystkich przedmiotów naturalnych przez racje Mechaniki“, już to dla tego, że uważają, iż takie wyjaśnienie jest skomplikowane, aby było łatwo stosowalne i płodne, już dla tego, że przestali je uważać za możliwe.

D. c. n.