

$$l_1 = L \cdot \int_0^{\infty} \frac{4x^4 e^{-x^2} dx}{xe^{-x^2} + (2x^2 + 1) \int_0^x e^{-x^2} dx} \quad \text{oraz}$$

$$l_3 = L \cdot \int_0^{\infty} \frac{4\sqrt{h} x^3 e^{-x^2} dx}{xe^{-x^2} + (2x^2 + 1) \int_0^x e^{-x^2} dx},$$

tak iż zestawienie ich z wielkością l_2 Maxwell'a:

$$l_2 = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot L$$

daje, co następuje:

$$l_1 = 0,677 L ; l_2 = 0,707 L ; l_3 = 0,734 L .$$

Tait obstaje za uznaniem l_1 , Boltzmann za uznaniem l_2 za najnaturalniejszą przeciętną. Kto wie, czy nie najwięcej słuszności ma za sobą „zdanie wielkiej powagi“, cytowane przez Tait'a, iż najlepszym określeniem jest to, które pozwala najłatwiej wykonać całkowania. W każdym razie za zasługę należy poczytać Tait'owi jasny i ścisły rozbiór całej tej sprawy.

3. O ZASADZIE ZACHOWANIA ENERGII.

Max Planck. „Das Princip der Erhaltung der Energie“. (Zasada zachowania energii). Lipsk, 1887, str. XII i 247.

PRZEZ

E. NATANSONA.

Wydział filozoficzny Uniwersytetu w Getyndze ogłosił rok 1887 konkurs, którego przedmiot określono w sposób następujący:

„Od czasu Tomasza Young'a („Lectures on natural philosophy“, 1807, lecture VIII) przypisują fizyce ciałom *energię*, od czasu zaś Williama Thomsona (Philosophical Magazine, IV, 1855, p. 523) wprowadzoną została do nauki zasada zachowania energii, i często jako prawo, do wszystkich ciał się stosujące, wypowiedaną bywa. Pod nazwą tą, zdaje się, bywa rozumianem to samo prawo, które Helmholtz ogłosił wcześniej jako „zasadę zachowania siły“.

„Wymaganym jest przedewszystkiem dokładny obraz historyczny rozwoju pojęcia o energii i rozbiór wypadków, w których termin ten był stosowany; dalej gruntowne zbadanie, z punktu widzenia fizyki, pytania, czy należy odróżniać różne rodzaje energii, i jakie określenie ich w takim razie przyjąć wypada; wreszcie wymaganem jest rozstrzygnięcie pytania, jak powinna zostać wygłoszona i jak może być udowodniona zasada zachowania energii, jako ogólne prawo przyrody.“

Trzech autorów pokusiło się o rozwiązanie tak postawionego zadania; pomiędzy nimi Planck, w pracy, której tytuł przytoczyłem w nagłówku. Jakkolwiek praca Planck'a nie rozwiązuje wszystkich zadań, stanowiących

przedmiot konkursu, w szczególności zaś pozostawia bez należytego rozbioru kwestyą: czy i w jaki sposób należy rozróżniać rozmaite formy energii, to jednak, ze względu na bogactwo zestawionego w niej materiału oraz subtelność poglądów autora, jest ona niezwykle interesującym zjawiskiem w literaturze naukowej fizyki teoretycznej, dla której jest przedewszystkiem ważnym przyczynkiem *metodologicznym*.

Dzieło Planck'a rozpada się na następujące działy:

Rozdział I. Rozwój historyczny pojęcia energii.

Rozdział II. Sformułowanie i dowód zasady zachowania energii.

Rozdział III. Rozmaite formy energii:

- 1) Energia mechaniczna.
- 2) Energia cieplna i chemiczna.
- 3) Energia elektryczna i magnetyczna.

Już Empedokles wyrzekł: „tylko głupcy sądzą, że może począć się to, co nigdy nie było; że może rozwiązać się to, co istnieje i zniknąć zupełnie”. Takie ślady istnienia w umysłach filozofów niedokładnego przeczcucia zasady zachowania energii dają się odnaleźć w dziełach mędrców starożytnych, zarówno jak w utworach epoki odrodzenia. Lecz istotny rozwój nauki o energii poczyna się dopiero od czasów Kartezjusza i Leibnitz'a, od pamiętnego sporu, wszczętego przez tych dwóch wielkich ludzi o istotną *miarę sily*. Leibnitz uważał iloczyn masy m przez kwadrat prędkości, v^2 , poruszającego się ciała za miarę sily, związanej z ciałem, będącym w ruchu. Kartezjusz i szkoła jego mierzyli siłę tę iloczynem mv . Rzecz prosta, że w gruncie rzeczy spór ten był nieporozumieniem; siłą bowiem wolno nazwać wszystko, co się komu spodoba, byle pojęcie, do którego termin ten mamy stosować, zostało jasno i ściśle określone. Określenia zaś sily nie podawali właśnie ani Kartezjusz, ani Leibnitz. Lecz słuszną czyni Planck uwagę, że spór ów nie był prostym sporem o wyrazy. Obaj filozofowie pod *sily* rozumieli owo „coś”, co wywołuje zjawiska we wszechświecie; obaj, szczególnież jednak Leibnitz, przypisywali owemu czynnikowi twórczemu niezniszczalność. Dziś nazywamy *pracą* (względnie energią) to, co Leibnitz pod *sily* rozumiał; i w tym znaczeniu, rzecz można, treść poglądów Leibnitz'a była prawdziwą, choć niebawem, pod potężnym wpływem Izaaka Newton'a, ustaliło się pojęcie *sily*, zgodne z miarą, przyjętą przez Kartezjusza, a oparte na pojeciu mięśniowym sily, jako *ciśnienia*. Leibnitz'a siła jest więc *pracą* Newton'owskiej sily. Pojęciem *pracy* Newton mało się zajmował, a choć podał określenie dla *actio agentis*, nie stosował go przecież do żadnego ważniejszego zadania. Dla tego też uważa Planck za chybioną próbę (przez Thomson'a i Tait'a podjętą) przypisania Newton'owi odkrycia zachowania energii.

Dopiero Jan Bernoulli, Euler i Daniel Bernoulli wykształcili zasadę zachowania sił żywych i stosowali ją do wielu zadań mechaniki. Nie-

obcém im było pojęcie zdolności wykonywania pracy, którą Jan Bernoulli „*facultas agendi*”, w znany zaś liście do Varignon'a wprost „*energią*” nazywa.¹⁾ Daniel Bernoulli rozumiał znów różnicę pomiędzy energią czynną a potencjalną. Naukowo określił energią (i uzasadnił jednocześnie potrzebę tego terminu) Tomasz Young, opierając się przeważnie na zjawiskach uderzenia ciał sprężystych.

Stanowczy krok naprzód uczynił w r. 1824 Sadi Carnot. Stosując zasadę niemożliwości perpetuum mobile do zjawisk cieplnych, wyszedł on po raz pierwszy z zakresu zjawisk czysto mechanicznych. Na tém polega niespożyta jego zasługa. W badaniach swoich natrafił on rychło na konieczność znalezienia wartości równoważnej dla wykonanej pracy mechanicznej. Co uważać należy za kompensacją pracy (wykonanej przez ciepło) i jak ją mierzyć?— oto pytanie, na które Carnot odpowiedział w sposób następujący. Ciepło (które uważał wówczas, zgodnie z duchem czasu, za płyn niezniszczalny i nieważki) ma dążność do przechodzenia od temperatur wyższych do niższych. Dążność tę można wyzyskać dla wykonania pracy. Carnot szukał tedy w zjawisku przepływu ciepła od ciał cieplejszych do zimniejszych kompensacji pracy wykonanej, a za miarę pracy tej uznał iloczyn z ilości przeniesionego ciepła przez spadek temperatury. Zasadzając się na poglądach Carnot'a, wyliczył Clapeyron, iż jedna kalorya, przechodząc od 1° C. do 0° C., może wykonać pracę 1,41 kilogramometra. Pierwsza tedy teorya Carnot'a, jak podaje ją dzieło „*Réflexions sur la puissance motrice du feu*”, Paryż, 1824, jest zupełnie konsekwentną próbą połączenia zasady niemożliwości perpetuum mobile z hipotezą materialnej istoty ciepła. Jeżeli nie ilość ciepła, lecz ilość ciepła, pomnożoną przez różnicę temperatur, uważać będziemy za energią cieplną, to doprowadzeni zostaniemy w teoryi Carnot'a do zasady niezniszczalności energii. Dlatego też występuje Planck przeciwko nieraz napotykanemu uprzedzeniu, jakoby hipoteza o materialnej istocie ciepła stała w sprzeczności z zasadą zachowania energii, jako zasadą czysto mechaniczną. Zresztą z ogłoszonej przez brata Carnot'a spuścizny naukowej po wielkim tym mężu okazało się, niestety dopiero w r. 1878 (*Comptes Rendus*; tom 87. p. 967), że w ostatnich latach swego życia Carnot odstąpił od poglądów, które sam wykształcił; zakładając, że ilość ciepła jest wielkością wymiaru energii, obliczył on, iż 2,7 kaloryi odpowiada pracy, wykonywanej przez podniesienie 1 metra sześciennego wody o 1 metr. Stąd wypadłby zwykły równoważnik mechaniczny ciepła równy 370 kgm. Tak tedy Carnot wyliczył tę ważną stałą przyrody co najmniej na lat 10 (umarł bowiem w r. 1832) przed Mayer'em.

Prace Rumford'a, Davy'ego, Roget'a wytworzyły już w tym czasie coraz ogólniej szerzące się przekonanie o jedności, o niezniszczalności czynni-

¹⁾ Pod tym względem odrzucił się Planck, mówiąc, że termin ten nie znajduje się w dziełach Bernoulliego. Porównaj Rühlmann'a *Mechanische Wärmetheorie*, 1885, tom II, str. 878.

ków przyrody. Lecz pomysłem tym brakowało ścisłości. Ważny, decydujący krok pozostawał do zrobienia: wyszukanie wspólnej miary dla sił, których równoważność przeczuwano. Dokonał go lekarz z Heilbronn, Juliusz Robert Mayer, w słynnej, bardzo krótkiej notatce: „Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur“ (Liebig's Annalen. 42, p. 233, 1842). Zasadniczą zdobyczą tej pracy (krótko wspomnianą tylko w jej zakończeniu) jest t. zw. hipoteza Mayer'a, polegająca na tym, iż różnica ilości ciepła, które gaz pochłania, gdy go ogrzewamy raz przy stałym ciśnieniu, drugi raz przy stałej objętości, jest ściśle równoważna pracy, wykonanej w pierwszym wypadku przy rozszerzaniu się gazu. Wiemy dziś, że hipoteza ta jest prawdziwą tylko dla gazów doskonałych; wszelako, dla gazów istotnych jest dość bliską prawdy. Na podstawie swego przypuszczenia wyliczył Mayer równoważnik mechaniczny ciepła na 365 kgm. Oprócz tego ważnego odkrycia, nie zawiera ani ta, ani późniejsze prace Mayera, teorii ścisłych, lecz raczej rozumowania filozoficzne, często głębokie, lecz ogólnikowe. Dla tego też pominię je; chociaż Planck w szczegółowy rozbiór wywodów Mayer'a się wdaje i widoczną ku pracom jego ożywioną jest sympatją, wyznaje wszakże sam w końcu, że pomysły Mayer'a żadnego wpływu nie wywarły na rozwój rodzącej się teorii.

Stworzyły ją za to podziwu godne, wiekopomne badania Joule'a, piowara z Salford pod Manchester. W styczniu r. 1843 złożył on towarzystwu filozoficznemu w Manchester rozprawę, w której udowodnił, że ciepło, które może wytworzyć prąd w danym obwodzie, jest identycznym z tą ilością ciepła, jaką otrzymać możnaby przez bezpośrednie utlenienie metalów i wodoru w ogniwie. Przytęm wypowiada on tu ściśle, ogólnie, zasadę niezniszczalności energii, którą nazywa *power*. Jeśli wprowadzimy do obwodu maszynę elektromagnetyczną, powiada Joule, tak iż prąd wykonywać będzie pracę, to ciepło, wytworzone w pozostałej części obwodu, musi się zmniejszyć, mianowicie proporcjonalnie do wykonanej pracy. Porównawszy pracę mechaniczną, potrzebną do wytworzenia prądu indukcyjnego ze skutkami cieplnymi tegoż prądu, obliczył Joule równoważnik mechaniczny ciepła na 460 kgm. (Joule wyrażał go w stopofuntach i kaloryach, odniesionych do funta angielskiego i stopnia Fahrenheit'a). Badając tarcie wody w cienkich rurkach znalazł Joule 423 kgm. Wnet później zwrócił się ku zmianom temperatury, jakie zachodzą przy zagęszczaniu i rozprężaniu powietrza; tu znalazł 452 i 436 kg. Wreszcie tarcie o wodę łopatek kółka, wprawionego w ruch za pomocą ciężarów spadających, doprowadziło do liczby 488 kgm. Dokładniejsze powtórzenie tych doświadczeń w r. 1847 dało liczbę 430 kgm.¹⁾

Czwartym z rzędu wielkim badaczem, który dokończył dzieła, rozpoczętego przez Carnota, Mayer'a i Joule'a był Hermann Helmholtz

Rozprawa jego nosi tytuł: „Ueber die Erhaltung der Kraft“.²⁾ Niepodobna tu streszczać za Planckiem tej pracy epokowej, w której Helmholtz nadał nowej zasadzie formę nieporównanie ogólniejszą, wyjaśnił związek jej z zasadami dynamiki i wykazał, jak płodną jest ona we wszystkich gałęziach fizyki, począwszy od czystej mechaniki, a kończąc na teorii indukcji magneto-elektrycznej. Odtąd zaczyna się niesłychanie bogaty szereg zastosowań prawa niezniszczalności energii, do czego przyczynia się również ściśle wypowiedzenie i rozszerzenie prawa Carnota, dokonane przez Clausius'a i W. Thomson'a. Godnym jest uwagi, że wraz ze wzrostem teorii mechanicznej ciepła, opartej na tych dwóch prawach, upowszechnia się również pogląd cynetyczny na zjawiska przyrody, jakkolwiek z prawdziwości zasady o przemienności wzajemnej form energii nie wynika koniecznie, by istotą zjawisk był *ruch*, témbardziej, że ściśle wypracowanie teorii cynetycznej zjawisk przedstawia znaczne trudności i tylko w teorii gazów świetnie się powiodło. Sama zaś zasada zachowania energii potężnieje tak szybko, że w lat kilkanaście po ukazaniu się panuje nad rozwojem nauki o przyrodzie nieożywionej. Odtąd posiadała nauka niezawodnego przewodnika nawet w całkiem niezbadanych dziedzinach — zasadę zachowania energii. Pod tą postacią zasada ta staje się analogiczną do prawa niezniszczalności materii; być może, że na tém podobieństwie zasadza się po części zadziwiająca łatwość, z jaką nowe prawo zakorzeniło się w przekonaniu uczonych. Inną jest rzeczą, czy tym sposobem nie nasuwa się zupełnie nieuzasadnione pojęcie o energii, jako o czémś, istniejącem w ciele lub w układzie; w wielu wypadkach, np. dla układu przewodników naładowanych w spoczynku, właściwe siedlisko energii bynajmniej nie jest pewnym. Przy stosowaniu równania, wyrażającego niezniszczalność energii, można posilkować się rozmaitemi podziałami, można dzielić systemat na części materyalne, lub elementy objętościowe, energią na cynetyczną i potencjalną³⁾, na mechaniczną i cieplną, na wolną i związaną (Helmholtz) i t. d. Lecz należy zważać, czy pojedyncze, dowolnie przez nas obrane rodzaje energii są istotnie od siebie niezależne; w przeciwnym razie otrzymalibyśmy łatwo rezultaty błędne.

Na roku 1860 kończy Planck historią rozwoju myśli, której powstanie i doniosłość zbadać przedsięwziął. W ostatniem dwudziestopięciocieleci zaśla niejedna zmiana w sposobie stosowania i pojmowania nauki o energii, zwłaszcza w zakresie zjawisk elektrycznych. Lecz autor osądził zapewne, że na skreślenie historii tych zmian, która musiała by być zarazem ich krytycznym rozbiorem, nie nadeszła jeszcze chwila.

¹⁾ Prace Joule'a wydało w dwóch tomach Towarzystwo fizyczne Londyńskie (w r. 1884 i 1887).

²⁾ Wissenschaftliche Abhandlungen von H. v. Helmholtz, I, p. 12.

³⁾ Jedynym przykładem, w którym podział ten nie zdaje się odpowiadać naturze rzeczy, są zjawiska elektrocyneetyczne, w których występują energie, zależne zarówno od prędkości, jak od położenia,

Przed sformulowaniem i udowodnieniem zasady zachowania energii należy samo pojęcie energii ściślej określić. Niezależnie od jakiegokolwiek specjalnego poglądu na przyrodę, można by to skutecznie, określając jako energią pewną funkcję, której wartość zależy w pewien wiadomy sposób od zmiennych, określających stan danego ciała, lub układu ciał. W takim określeniu jednak zakładamy znajomość samej zasady; istotnie aby dowieść, że podobna funkcja istnieje, i wiedzieć, w jaki sposób wchodzi do niej zmienna niezależna, należy już zastosować zasadę, o sformułowanie której chodzi. Nie podlega temu samemu zarzutowi, według Planck'a, określenie sir Williama Thomson'a, które daje wprost wielkość energii przy danych warunkach. Według Thomson'a energią (zdolnością do wykonywania pracy) układu materialnego w określonym stanie nazywamy ogólną *miarę wszystkich przemian* (wyrażoną w jednostkach mechanicznych), które zostają wywołane na zewnątrz układu wówczas, gdy on w dowolny sposób przechodzi ze stanu danego do stanu początkowego, dowolnie obranego. Określenie to jest nadzwyczaj konkretnym, nie opiera się ono na abstrakcjach matematycznych, ani na pojęciach często nadużywanych (jak np. „siła“), lecz odwołuje się do zjawisk, które w każdym danym wypadku wywołać lub przynajmniej pomyśleć możemy. Wszelako niepodobna zgodzić się z Planckiem, aby wytrzymywało ono zarzut, poprzedniemu określeniu uczyniony. Aby znaleźć „miarę wszystkich przemian“ (a zatem i nie mechanicznych) „w mechanicznych jednostkach“, trzeba wiedzieć że ona istnieje i znać jej wartość liczebną; dalej należałoby mieć pewność, że wielkości, znajdujące „przy przechodzeniu ze stanu danego w dowolny sposób do stanu początkowego“ mają zawsze jedną i tę samą wartość, jednym słowem, należałoby opierać się na zasadzie zachowania energii. Z punktu widzenia praktycznego określenie Thomson'a wymaga również dopelnienia. Znany formy energii (np. ciepło), które nie dają się nigdy zamienić całkowicie na pracę mechaniczną, a nawet wiemy, dlaczego nie mogą dać się one całkowicie na pracę zamienić. Z tego więc powodu należy odwrócić porządek pojęć w określeniu i uważać za mechaniczny równoważnik pewnej ilości energii tę ilość pracy, która musi być *zużyta*, aby stworzyć daną ilość energii. Druga jeszcze nasuwa się tu uwaga; mogą zachodzić wypadki, w których przeprowadzenie układu do stanu początkowego nie jest praktycznie możliwym. Aby i w podobnych wypadkach obliczyć energią, którą przedstawia układ, należy się posilkować już samą zasadą zachowania energii.

W podstawowej swjej formie zasada ta daje się wyrazić, jak następująco: w mechanicznych jednostkach wyrażona miara wszystkich przemian, które wywołuje na zewnątrz układ materialny, przechodząc ze stanu danego w sposób dowolny do dowolnie obranego stanu początkowego, posiada wartość jednoznaczna, niezależna od jakości drogi, którą przejście się odbywa. Z tego twierdzenia wypływa bezpośrednio niemożliwość perpetuum mobile, wynikająca też łatwo twierdzenia takie, jak np.: „energia układu w stanie A , odniesiona do stanu N , którą oznaczmy przez $[A N]$, równa się

$$[A B] + [B C] + \dots + [M N];$$

dalej:

$$[A N] = - [N A],$$

lub jeszcze:

$$[A B] = [A N] - [B N].$$

Z równania

$$[A B] = [A N] - [B N]$$

wyprowadzić można zasadę naszą pod jej kształtem najpopularniejszym. Jeśli przemiana, przeprowadzająca układ materialny ze stanu A do stanu B , odbywa się tak, iż w otoczeniu zewnętrznym układu żadne działania nie zostaje wywołanym, wówczas $[A B] = 0$, zatem

$$[A N] = [B N]$$

t. j. energia w stanie A jest równą energii w stanie B ; energia układu jest niezniszczalną, jeżeli w układzie zachodzą tylko działania wewnętrzne. Wnioski te pozwalają na dopelnienie określenia Thomson'owskiego dla energii w tych wypadkach, kiedy przejście od stanu danego do początkowego nie jest istotnie możliwym. Wówczas oprzeć się trzeba na stanach pośrednich, co też w praktyce (termochemii np.) wciąż się dokonywa.

Przejdźmy do dowodów, które na stwierdzenie zajmującego nas prawa przytoczyć można. Zdawało by się, że tak ważne prawo poparte jest jakimś dowodem klasycznym, ustalonym, nieulegającym dyskusji. Tymczasem właśnie w tym względzie panują najróżniejsze poglądy. W ostatnich czasach daly się nawet słyszeć głosy, iż dowodu ścisłego ani dać można, ani szukać nie potrzeba; że zasada zachowania energii powinna być uznana a priori, jako wrodzona, konieczna forma naszego sposobu myślenia. Z tém zdaniem trudno się zgodzić, gdy się spojrzy na historję rozwoju prawa energii i na przekonania, które panowały o niej w zeszłych stuleciach. Zakładano wprawdzie nieraz niezniszczalność czynników przyrody i nie przeczono jej bezpośrednio; lecz do najnowszych czasów, jak wykazują skreślone powyżej dzieje pojęcia o ruchu, o sile i o energii, nie wiadano dokładnie, *co właściwie* jest niezniszczalnym. Wprost odrotnie sądzi Planck z większością uczonych współczesnych: dla ugruntowania zasady zachowania energii należy oprzeć się na doświadczeniu. Dostatecznie jest spojrzeć na długi szereg zastosowań w całym obszarze nauk fizycznych twierdzenia o zachowaniu energii, aby sobie uprzytomnić liczbę jej indukcyjnych dowodów, rozciągających się na wszystkie rodzaje zjawisk przyrody. Prawie każde zastosowanie zasady tej, powiada Planck, przynosi ze sobą nowe dowody jej prawdziwości, poczynając od niezależności ilości ciepła, wydzielonego przy tarcniu, od szybkości, temperatury i natury trących się ciał,

aż do zjawisk indukcji, wywoływanej przez ruch magnesów niezależnie od jakości przewodnika, w którym zostaje wzbudzona.

Planck nie poczytuje wszelako dowodu indukcyjnego, a raczej całości licznych dowodów indukcyjnych, za podstawę dostatecznie trwałą do oparcia na niej zasadniczego prawa przyrody. Nie można ręczyć, powiada on, za to, iż nie znajdziemy kiedyś zjawiska, lub klasy zjawisk, których niepodobna będzie pogodzić z prawem zachowania energii. Tęj siły przekonywującej, jaką posiada dziś prawo zachowania, nie zaczerpnęło ono z dowodów indukcyjnych; nie mogło jęj tębardziej zaczerpnąć wówczas, kiedy pomimo nieliczności i niedokładności pierwszych doświadczeń Joule'a narzuciło się ono wszystkim. Tylko dedukcyja, która pozwala objąć prawo zachowania i liczne jego zastosowania z wyższego punktu widzenia; tylko połączenie go z prawami jeszcze ogólniejszemi, może usprawiedliwić ową spiszową pewność, jaką mu nadajemy. Temu rozumowaniu Planck'a niejedno byłoby do zarzucenia. Prawdopodobieństwo, że prawo niezszczalności energii stosuje się istotnie do przyrody, o ile ją wogóle poznać możemy, rośnie wciąż, zbliżając się do pewności; lecz pomijając już tę okoliczność, przypomnieć należy, że *pozornie dedukcyjne dowody są zawsze indukcyjnemi* w istocie rzeczy lub też nie są dowodami wcale.

Można więc porównywać ze sobą dwa rodzaje dowodów: jeden bezpośredni, opierający się na pewnych faktach dostrzeganych, dotyczących energii, drugi pośredni, wprowadzający znaczącą liczbę faktów elementarniejszych dla udowodnienia pewnych prawd przygotowawczych, a z tych ostatnich dopiero wysnuwający prawo zachowania energii. Lecz oba rodzaje dowodów będą natury indukcyjnej.

Przeгляд dowodów, rzekomo dedukcyjnych, rozpoczyna Planck od Kartezyza, który uczył, że Stwórca udzielił przymiotów sobie właściwych, wieczności i niezmienności, stworzonej przez się przyrodzie i jęj siłom. Colting uważał siły przyrody, które panują nad materją wszechwładnie, za jednostwa duchowe; nie mogą więc być poddane śmierci. [Nie wiele się różni od tego poglądu doktryna Hirn'a, który głosi, że siła jest pierwiastkiem zasadniczym wszechświata, różnym od materji, mającym byt obiektywny.] J. R. Mayer oparł się na postulatcie: *causa aequat effectum*. Ale Planck (co już przed nim dosadnie uczynił Tait) daje słuszną odprawę podobnym ogólnikowym rozumowaniom. Mówi on, że dowód Mayer'a pociąga nas dzisiaj tylko dla tego, że skądinąd dobrze wiemy o prawdziwości zasady zachowania energii i do jęj treści jesteśmy przyzwyczajeni. Sądję, że temi słowy Planck wydał (widocznie mimowoli) bardzo surowy wyrok na dowód Mayer'a.

Pierwszym dowodem prawdziwie naukowym natury dedukcyjnej jest wywód Helmholtz'a, podany w rozprawie jego „Ueber die Erhaltung der Kraft“. Helmholtz zasada się na mechanicznym poglądzie na przyrodę; w szczególności zaś na przypuszczeniu, iż wszystkie siły, działające w zjawiskach przyrody, można w zasadzie rozłożyć na siły, działające pomiędzy punktami; t. j. na siły, podlegające zasadniczym prawom ruchu Newton'a.

Zasada zachowania energii sprowadza się wówczas do prawa sił żywych, znanego z mechaniki; całkowitą energją, zawartą we wszechświecie, winniśmy wówczas uważać za złożoną li tylko z energii cynetycznej i potencjalnej.

Oddając słusność potędze mechanicznego na świat poglądu, jasności, z jaką zaspakaja on naszą „potrzebę przyczynowości“ i łatwości, której przy formułowaniu i dowodzeniu zasady zachowania energii pogląd ten jest źródłem, powiniśmy, zdaniem Planck'a, nie przeceniać jego wartości umięjtnej. Słuszniej byłoby opierać pogląd, dotyczący istoty zjawisk przyrody, na zasadzie zachowania energii, uważać go za cel, do którego prawdopodobnie doprowadzi kiedyś coraz głębiej sięgająca umięjtność, niż brać go za punkt wyjścia, który nigdy z góry przyjmowanym być nie powinien. Tak np. dla całości zjawisk elektrycznych i magnetycznych pogląd ten jest dziś jeszcze co najmniej przedczesnym. Jeszcze bardziej przedczesnym jest dla świata organicznego, *do którego chcemy i musimy*, powiada Planck, *stosować zasadę zachowania energii*. Natomiast rozważania podobnego rodzaju, jak teorie cynetyczne, nie są bynajmniej bezpodne, gdyż pobudzają do imania się wszelkich środków, by wytlomaczyć mechanizm zjawisk i sprawdzić przy pomocy doświadczenia słusność poczynionych założeń.

Planck szkicuje tedy jeszcze jeden dowód, biorąc w nim za podstawę niemożliwość perpetuum mobile, którą udowodniły długie lata wysiłków ludzkich, bezpodnie do osiągnięcia celu tego skierowanych. Wprawdzie odwrotnej zamiany nikt skutecznie nie próbował; nikt nie starał się *znieczyć* pracy, podobnie, jak nikt nie szukał sposobu zamienienia złota na ołów. Zasady tedy odwrotnej względem prawa, iż perpetuum mobile jest niemożliwe (t. j. prawa, iż praca mechaniczna nie może być stworzoną z niczego), z równą pewnością wygłosić niepodobna. Lecz zakładając, iż obie te zasady są prawdziwe, udowodnilibyśmy łatwo prawo zachowania energii pod kształtem, który roztrząsaliśmy powyżej. W istocie, niechaj będzie dany układ materialny w stanie *A*. Przeprowadzając go do stanu początkowego *N*, znaleźlibyśmy np. wielkość *a* dla wartości mechanicznej zaszych przy tém przemianie zewnętrznym. Gdyby, wykonawszy na innęj drodze też samę przemianę, można było otrzymać inną wielkość *a'* dla tęjże wartości, to perpetuum mobile byłoby możliwe. Wykonawszy mianowicie jednę z dwu pomienionych przemian, powrócilibyśmy ze stanu *N* do stanu *A*, znajdując *b* jako wartość działai, przy tém wywartylch. Mielibyśmy wówczas dwa procesy kołowe o wartości *a + b* i *a' + b*. Ponieważ *a + b*, wedle założenia, nie jest równe *a' + b*, przeto jedna przynajmniej z pomiędzy tych wielkości nie jest równa zeru; a wówczas perpetuum mobile jest możliwe. Skoro zatem jest niemożliwe, to energia układu w stanie danym, odniesiona do innego stanu danego, jako do początkowego, ma wartość jednoznaczną. To ostatnie zdanie zawiera prawo zachowania energii.

W zakończeniu raz jeszcze zwrócę uwagę czytelnika na sprzeczność, jaka zachodzi pomiędzy poglądem Planck'a o konieczności dowodu *dedukcyjnego* dla prawa zachowania energii a treścią przytoczonych tu dowodów. Zarówno

wątpliwości i zastrzeżenia, uczynione przezeń przy roztrząsaniu mechanicznego na świat poglądu, jak wzięcie za podstawę rozumowań *doświadczenia wielociekowego*, prowadzącego do wniosku, że perpetuum mobile nie jest możliwe, są wszak natury par excellence *indukcyjnej*.

Dział trzeci książki składa się z trzech części. Pierwsza zajmuje się energią mechaniczną, druga — ciepłą i chemiczną, trzecia — magnetyczną i elektryczną.

Rozdział pierwszy stanowi próbę wyprowadzenia zasad mechaniki, włącznie z prawami ruchu Newton'a, z zasady zachowania energii. Wyprowadzenie to nie ma być czysto dedukcyjnym, co Planck wyraźnie zaznacza; opiera się ono raczej na pewnych dodatkowych założeniach natury indukcyjnej, które wszakże sprowadzić można do jednego ważnego założenia. Założenie to Planck nazywa zasadą (śluszniej byłoby może: hipotezą) superpozycji. Równanie, wykazujące, jak zmienia się energia punktu materialnego pod wpływem sił nań działających, można np. rozłożyć na trzy równania, z których każde dotyczy energii cynetycznej, wziętej względem pewnej osi współrzędnych i składowych, działających wzdłuż téjże osi. Przypuszczamy, że energie te nie mogą się krzyżować pomiędzy sobą, że każda z nich zależy tylko od odpowiadającej jój siły składowej. Podobnie rozkładamy energią elementu ciała na energią zewnętrzną (molekularną) i wewnętrzną (molekularną). Przy pomocy téj zasady o superpozycji różnych rodzajów energii, zasady, którą już wielokrotnie w fizyce i mechanice stosowano, nie podnosząc wyraźnie, że wprowadza się tym sposobem pewne założenie, Planck pragnie mechanikę uporządkować w sposób następujący. Jako: pojęcie pierwotne należy ustalić pojęcie *siły*, oparte na poczuciu mięśniowym ciśnienia (zobacz dalej krytykę Kirchhoff'a). Z pojęcia siły wynika pojęcie *pracy*; przy pomocy tych pojęć rozwinąć już można zasadę zachowania energii, a na téj ostatniej, przy pomocy założenia o superpozycji, niemiędruno będzie oprócz aksjomaty Newton'a, proporcjonalność przyspieszenia do siły i t. d. Do planu tego jednę tylko zrobiliśmy uwagę, że aksjomaty Newton'a nie zawierają w sobie właściwie nic innego, jak zasadę superpozycji Planck'a, o tyle przynajmniej, o ile zasada ta ściśle, niż to Planck czyni, wypowiedziana zostanie. Czuł to potrosze sam Planck, jak ze słów jego na str. 187 wynikać się zdaje.

W związku z tym planem Planck czyni uwagę, że w teorii ciepła dojrzałsze poniekąd panują poglądy, niż w mechanice analitycznej. W teorii ciepła bowiem pojęcie ilości ciepła, t. j. energii ciepłej uważamy za pierwotne; temperaturę uważamy za objaw ciepła; wiemy, iż ona nie istnieje, chociaż posiadamy zmysł dla temperatury, a nie dla ilości ciepła. W mechanice zaś, odwrotnie, zmysł nasz, wrażliwy na siłę (ciśnienie), prowadzi nas wciąż jeszcze do uludnego poglądu na siłę, jako na przyczynę ruchu, lub zmian ruchu; tymczasem i tu energią winniśmy pocztytywać za pojęcie pierwotne, siłę zaś za

objaw istniejącej w danych warunkach energii. Planck nie wątpi, że dawno już byłby się ustalił ten pogląd, gdybyśmy posiadali zmysł dla pracy, dla energii, nie zaś, jak jest istotnie, dla siły.

Sprawa ta, jak wiadomo, zaprzęta od wielu lat umysły uczonych. Dwa wielkie geniusze Anglii (Newton w „Philosophiae Naturalis Principia Mathematica“ i Sir W. Thomson w „Treatise on Natural Philosophy“, wydanym wspólnie z Tait'em) opierają pojęcie siły na wrażeniu, jakie sprawia ciśnienie na zmysł nasz dotykania. Kirchhoff („Vorlesungen über mathematische Physik“, Lipsk, 1877) wyprowadza pojęcie siły z pojęcia przyspieszenia. Tym sposobem siła staje się tylko nazwą dla pewnej funkcji matematycznej, terminem, używanym dla zwiezłości mowy. Huygens wreszcie (zobacz E. Mach'a, Sitzungsberichte der Wiener Akademie, tom 68, 1873, oraz tegoż książkę „Die Mechanik in ihrer Entwicklung“, Lipsk, 1883) próbował pierwszy oprzeć całą mechanikę na pojęciu energii, jako na pojęciu pierwotnym. Widzieliśmy, że Planck oświadcza się za metodą Huygens'a, jakkolwiek nie tai znanych zresztą oddawna zasadniczych zalet metody Newton'a, które jój od dwóch już wieków zapewniają zwycięstwo.

Co się tyczy metody Kirchhoff'a, to Planck oświadcza się stanowczo przeciwko jój słuszności. Uznać trzeba, zdaniem jego, że Kirchhoff słusznie postąpił, odmawiając „sile“ prawa do uchodzenia za przyczynę jakiegokolwiek bądź zjawiska: albowiem związek przyczynowy wymaga następstwa w czasie, tymczasem siła i przyspieszenie, według pojęć bieżących określone, są współczesnymi faktami. Ale nie należy zapominać, że wrażenia, których dostarcza nam zmysł dotyku, powinny i mogą wejść do fundamentów nauki tak samo, jak np. wrażenia, których źródłem jest niewątpliwie subtelniejszy zmysł wzrokowy. Każdy zmysł bowiem dostarcza nam materiału do tworzenia pojęć. Zapewne jest prawdą, że całość zjawisk ruchu może być zbadaną (opisaną, jak wyraża się z głębokim sceptycyzmem Kirchhoff) przy pomocy owego, czysto cynematycznego określenia siły; ale fizyce nie może ono wystarczyć. Fizyka musi rozważać zjawiska, które poznajemy dzięki zmysłom: dotyku, temperatury, barwy i t. d. Za pomocą zmysłów nie mierzymy wprawdzie ściśle ani wielkości siły, ani wysokości temperatury, ani odcienia barwy; mierzymy je dopiero przy pomocy otrzymanego rozszerzenia ciała termometrycznego, za pomocą długości fali, za pomocą nadanego przyspieszenia; lecz podobnie, jak nie uznajemy temperatury i barwy za pojęcia cynematyczne, których się pozbędzie i które przez ich miary zastąpić należy, tak samo nie mamy powodu do ignorowania tego wszystkiego, co nam mówi o sile poczucie naszą mięśniowe, czego nie powie nam nigdy (takiego Planck zdaje się być zdania) żaden wzór matematyczny.

Przechodząc do działu elektryczności i magnetyzmu, stosuje Planck przedewszystkiem zasadę zachowania energii do systematu elektrycznie nalaodowanych przewodników i dielektryków, wzajemnie na siebie działających. O ile szybkości owych ciał są małe w porównaniu z szybkością kry-

tyczną (300,000 km.), nie trudno jest znaleźć wartość energii elektrostatycznej i sprawdzić, że może ona przechodzić jedynie w energią cynetyczną poruszających się mas.

Ciekawszym jest inny wypadek, dotyczący kilku przewodników w zetknięciu, poruszających się w polu elektrycznym. Wówczas, obok dwóch powyższych składników energii, występuje trzeci, odpowiadający przeniesieniu pewnej ilości elektryczności przez powierzchnię zetknięcia przewodników i równy ilości dodatniej elektryczności, która przeszła w ciągu rozpatrywanego elementu czasu od jednego metalu do drugiego w kierunku dodatnim i którą należy pomnożyć przez różnicę ich potencjałów. Jakiemu istotnemu zjawisku wyraz ten odpowiada, nie jest bynajmniej dotychczas wiadomym. Można przypuścić, że istnieje specjalny rodzaj energii natury potencjalnej, który zawdzięcza swe pochodzenie działaniu cząsteczek materji na elektryczność. Pogląd taki tłumaczy bezpośrednio prawo napięć Volty, ale natomiast nie obejmuje zachowania się przewodników pierwszej kategorii względem cieczy, działających na nie chemicznie. Odwrotna hipoteza zasadza się na założeniu, że podobny rodzaj energii jako taki wcale nie istnieje, lecz natychmiast przechodzi przy powstawaniu w energią molekularną, ciepłą (zjawisko Peltie'ra). Jakkolwiek obliczone z tych zjawisk ciepłych potencjały metali względem siebie są wogóle mniejsze od znalezionych przez bezpośrednie pomiary elektrometryczne, to jednak dają się odnaleźć pewne okoliczności¹⁾, które różnice te tłumaczą. Szereg Volty nie jest wówczas wynikiem zasady niezniszczalności energii, ale za to zachowanie się przewodników drugiej kategorii różni się tylko tém od należących do pierwszej, iż oprócz zjawisk ciepłych, występują zjawiska chemiczne. Wobec tego przechyla się autor, może zbyt pośpiesznie, do tego ostatniego poglądu.

W dalszym ciągu rozpatruje Planck ekonomią prądów stałych i zmiennych w dowolnie złożonych obwodach elektrycznych zamkniętych, oraz pojedynczych jego częściach i roztrząsa równanie, które wynika z zasady zachowania energii dla wypadku, kiedy dowolna liczba magnesów i obwodów elektrycznych porusza się w polu nieskończonym. Wystarczają tu w zupełności prawa Ampère'a i F. Neuman'a tak długo, póki zachowany jest warunek, iż szybkość zmiany pola elektromagnetycznego jest niezmierną w porównaniu z szybkością krytyczną. Gdy założenie to upada, wkraczamy w dziedzinę niepewności. Planck jest stanowczym w tym względzie zwolennikiem poglądów Maxwell'a i przypomina z naciskiem, iż C. Neumann²⁾ dowiódł ostatecznie, że prawo zasadnicze Weber'a sprowadza się do założenia skończonej szybkości dla rozchodzenia się potencjału elektrostatycznego i że jest

to jedyną przyczyną, dla której siły elektryczne zależą pozornie od szybkości i przyśpieszeń cząstek elektrycznych. Z kwestyą tą wiąże się najściślej pytanie, czy wogóle możliwym jest działanie jakiegokolwiek z odległości, czy też zjawiska przyrody polegają na działaniu sił, ograniczonych do nieskończonej odległości. Fenomena elektryczne zdają się ten ostatni pogląd popierać; jeżeli jednak uda się myśl tę w dziedzinie elektryczności konsekwentnie przeprowadzić, to nie ulega wątpliwości, iż przeniknie ona również i do objawów grawitacyjnych i chemicznych. Imponujące to uproszczenie sposobu pojmowania przyrody, bardziej by jeszcze zbliżyło do siebie zasady zachowania materji i energii. Tak samo, jak materja jest nietylko niezniszczalną, ale nadto nie może w jednym miejscu zniknąć, aby w innym wypłynąć, podobnież energia może tylko w sposób ciągły zmieniać swoje siedlisko.

¹⁾ Porównaj: Maxwell'a, „A treatise on electricity and magnetism“, Oxford, 1879 I, § 249, oraz R. Clausius'a „Die mechanische Behandlung der Electricität“, Braunschweig, 1879, p. 172.

²⁾ C. Neumann, „Die Principien der Elektrodynamik“, Göttinger Nachrichten 1868, p. 228.