

Biblioteka
U.M.K.
Toruń

329973

Ks. Stanisław Wiczorek

Z DZIEJÓW ROZWOJU FIZYKI.

WYKŁADY Z FIZYKI

Z DZIEJÓW ROZWOJU FIZYKI.

WYPISY Z DZIEŁ ORYGINALNYCH

ZEBRALI I PRZEŁOŻYLI

Dr. M. GROTOWSKI, ST. LANDAU,
M. SADZEWICZOWA i Dr. W. WERNER.

TOM I

[MECHANIKA I DYNAMICZNE WŁASNOŚCI MATERII.
AKUSTYKA. NAUKA O CIEPLE].

Z 43 FIGURAMI W TEKŚCIE, 9 PORTRETAMI
I ZDJĘCIEM WNĘTRZA PRACOWNI W LEJDZIE.



WARSZAWA

NAKLAD I DRUK ZAKŁ. GRAF. TOW. AKC. S. ORGELBRANDA S-ÓW
SKŁAD GŁÓWNY W KSIĘGARNI E. WENDE I SPÓŁKA
H. ALTENBERG — LWÓW

WYPISEY Z DZIEŁ ORYGINALNYCH

WYPISEY Z DZIEŁ ORYGINALNYCH

DR. M. CHOTOWSKI, ST. LINDEN,
M. BARSZCZYŃSKI, DR. W. WERNER.

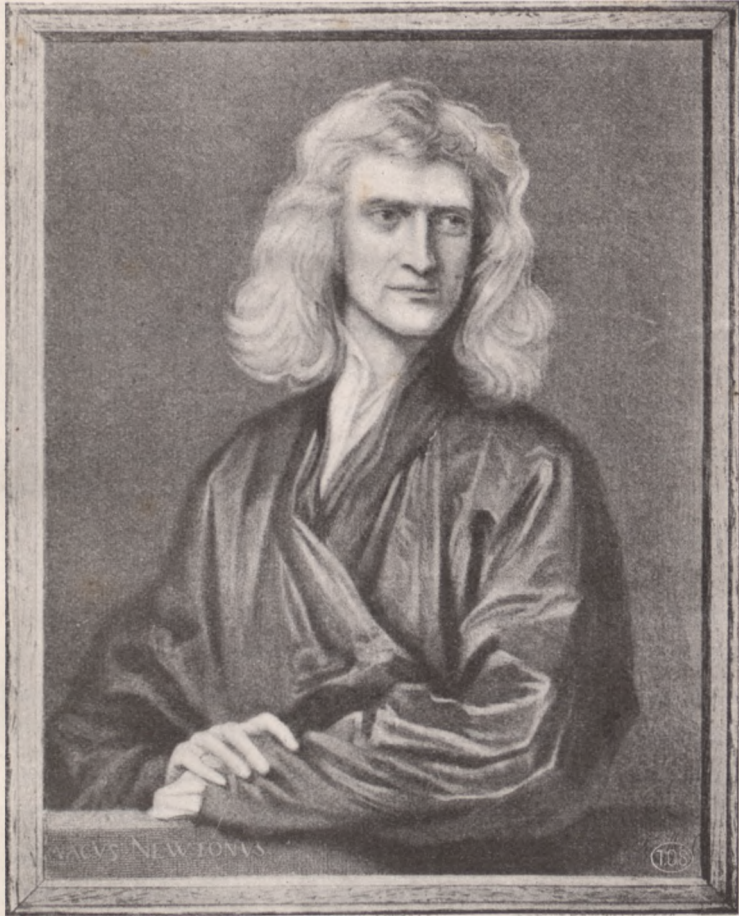
TOM I



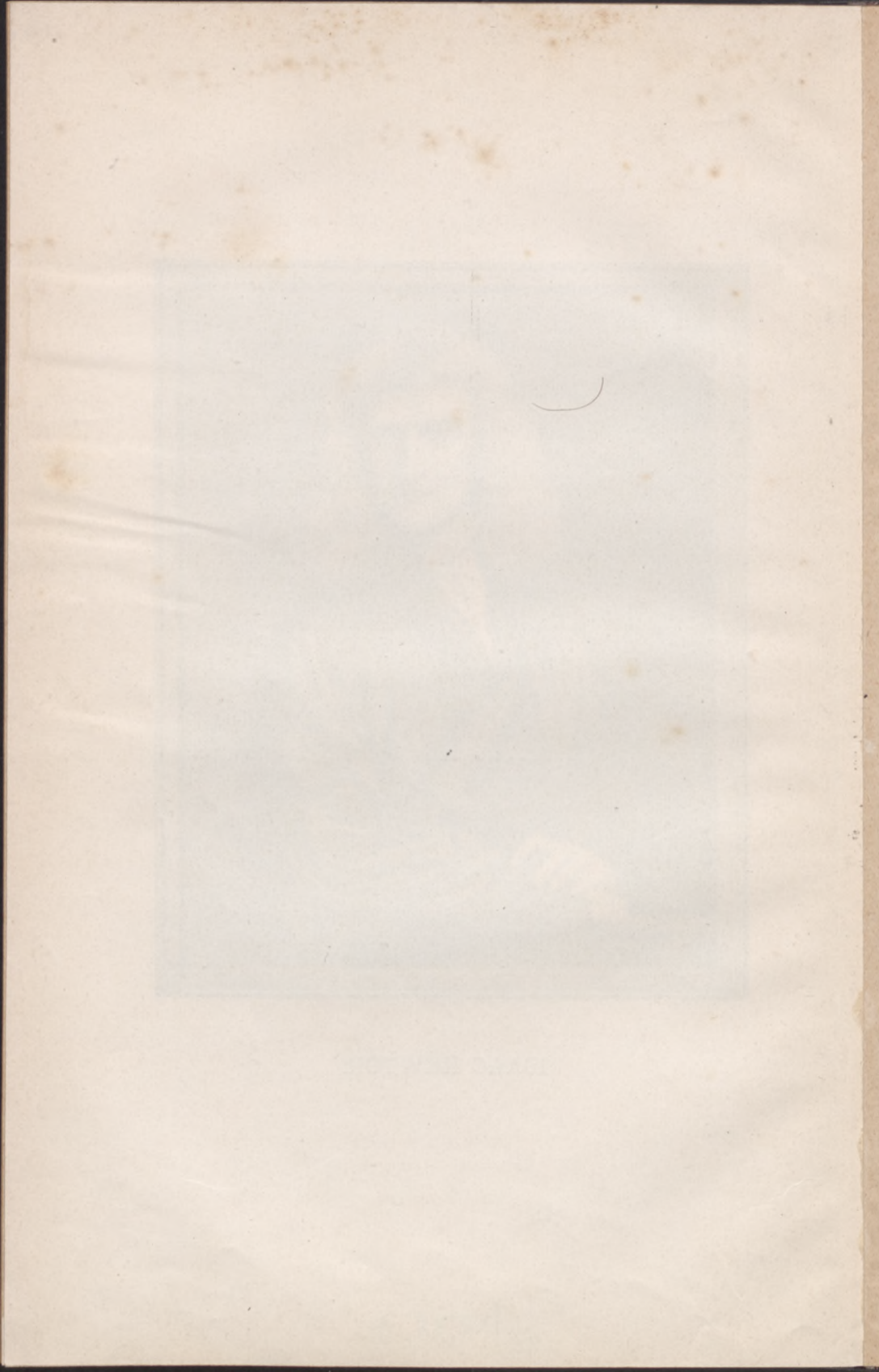
329973



K. 2551/62



ISAAC NEWTON.



PRZEDMOWA.

Od lat kilkunastu w nauczaniu fizyki powstał silny prąd, skierowany ku bardziej bezpośredniemu, niż dotychczas, zetknięciu się ucznia z przedmiotem nauczania. Dwie drogi w pierwszym rzędzie wiodą do tego celu: ćwiczenia własnoręczne zbliżają uczącego się do samej przyrody, — czytanie prac oryginalnych zapoznaje go z indywidualnością wielkich twórców myśli naukowej.

Obie te drogi nie mogą, rzecz prosta, zastąpić podręcznika; powinny jedynie uzupełnić wykład ściśle logiczny. Podręcznik jest niejako pośrednikiem pomiędzy czytelnikiem a uczonym. Ale najsumienniejszy, najwymowniejszy pośrednik nie zastąpi obcowania z twórczym umysłem badacza: fakty i prawdy naukowe w przedstawieniu ludzi, którym się one bezpośrednio objawiły, występują plastyczniej i łatwiej wrażają się w pamięć, niż w wykładzie systematycznym; nieraz też są jaśniejsze i zrozumialsze, niż w opracowaniach późniejszych, zwłaszcza popularnych; przyzna to zapewne każdy, kto porówna popularne opracowania zasady względności, teorii elektromagnetycznej światła, teorii elektronowej lub teorii barwy dźwięku z oryginalnymi pracami Einstein'a, Maxwell'a, J. J. Thomson'a, Zeeman'a i Helmholtz'a.

Jest to zrozumiałe: któż bowiem stara się jaśniej wypowiedzieć myśl swoją, niż twórca nowego poglądu, wystawiony na krytykę ludzi, przywykłych do pojęć już utartych? któż wszechstronniej zbadał daną sprawę doświadczalnie, lub rozważył teoretycznie? Nie przeczymy, że bywają przykłady wprost przeciwne; staraliśmy się pominąć je w tym zbiorze.

Nie należy też niedoceniać znaczenia wychowawczego historycznego poznania nauki. Kształtujący się charakter napotka tu zdumiewające przykłady żelaznego hartu woli, pracowitości mrówczej, całkowitego podporządkowania życia wielkiej idei przewodniej. Pod tym względem jest chyba fizyka dziedziną wyjątkowo uprzywilejowaną. Dość wspomnieć imiona Galileusza, Newtona, Huygens'a, Faraday'a, Fresnel'a, których życie jest pasmem poświęceń dla nauki i idei obowiązku.

Na Zachodzie zrozumiano oddawna doniosłość uprzyśpieszenia źródeł naukowych. W dziedzinie nauk ścisłych największą popularność zyskało niemieckie wydawnictwo p. t. „Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften“, które w stu kilkudziesięciu tomikach zawiera szereg najwybitniejszych pomników myśli ludzkiej. Podobne zbiory posiadają i inne narody; my i pod tym względem pozostaliśmy w tyle.

Wydając niniejszy zbiór prac oryginalnych najwybitniejszych fizyków, chcieliśmy zapełnić tę lukę w skromnym tylko zakresie; mając na względzie przedewszystkiem potrzeby szkolnictwa, pragnęliśmy dać książkę, która mogłaby się znaleźć w rękach ucznia klas starszych lub początkującego studenta, a nauczycielowi dostarczyłaby materiału do urozmaicenia wykładu. Sądzimy jednak, że i każdy człowiek ogólnie wykształcony, interesujący się zagadnieniami fizyki, znajdzie w tej książce ciekawy dla siebie materiał.

W wydawnictwie niniejszem nie dążyliśmy do zupełności, i nic łatwiejszego, jak wykazanie w niem braku nazwisk i tytułów, zasługujących na uwzględnienie. Chodziło nam raczej o uwypuklenie momentów szczególnie ważnych dla rozwoju idei zasadniczych fizyki. Wiele kwestyi wypadło pominąć dla braku czasu i miejsca. Pewne luki i nierównomierności były też spowodowane warunkami lokalnymi, mianowicie trudnością zdobycia źródeł. O wyborze pracy decydowała czasem jej dostępność. Niekiedy, zamiast tłómaczyć z oryginału, musieliśmy się posiłkować przekładami obcymi, korzystając głównie z „Klasyków“ Ostwalda.

Przytoczone w książce rozprawy nie są tłómaczone w całości — zajęłoby to zbyt wiele miejsca. Mniej zajmujące szczegóły lub zbyt trudne ustępy opuszczono zupełnie albo podano w streszczeniu. Rozprawy zaopatrzone w uwagi, objaśniające miejsca trudniejsze i informujące czytelnika o obecnym stanie zagadnienia. Dodano też życiorysy autorów, przeważnie zwięzłe; kilka tylko najbardziej ciekawych i pouczających potraktowano obszerniej. Krótkie ustępy z historii fizyki łączą w całość poszczególne prace.

Zbiór nasz nie jest jednolity; obok ustępów łatwych, dostępnych nawet dla początkującego czytelnika, jak wyjątki z dzieł Guericke'go, Pascal'a, Celsyusza, Gay Lussac'a, Franklin'a, Galvani'ego, Tomasza Young'a i in., znajdują się tu i rzeczy, których dokładne zrozumienie wymaga gruntownej znajomości fizyki. Mamy tu na myśli głównie rozprawy, dotyczące drugiej zasady termodynamiki. Okoliczność ta nie może stanowić wady zasadniczej, gdyż książkę taką, jak niniejsza, czyta się przeważnie rozdziałami. Wogóle należy zaznaczyć, że istotny pożytek może odnieść czytelnik tylko wówczas, gdy przystąpi do

rozpatrzenia historycznego rozwoju danego zagadnienia już po zapoznaniu się z niem w wykładzie systematycznym.

Za granicą w ciągu lat ostatnich pojawiło się kilka wydawnictw, do pewnego stopnia analogicznych do niniejszego*); w wyborze i układzie materiału nie naśladowaliśmy jednak żadnego z nich.

Możność wydania tej książki zawdzięczamy łaskawemu poparciu prof. S. Dicksteina; korzystaliśmy też z jego cennych uwag a niejednokrotnie i z jego księgozbioru. Uważamy sobie za miły obowiązek złożyć Mu należne podziękowanie.

Warszawa, w lutym 1913 r.

*) Wymieniamy znane nam :

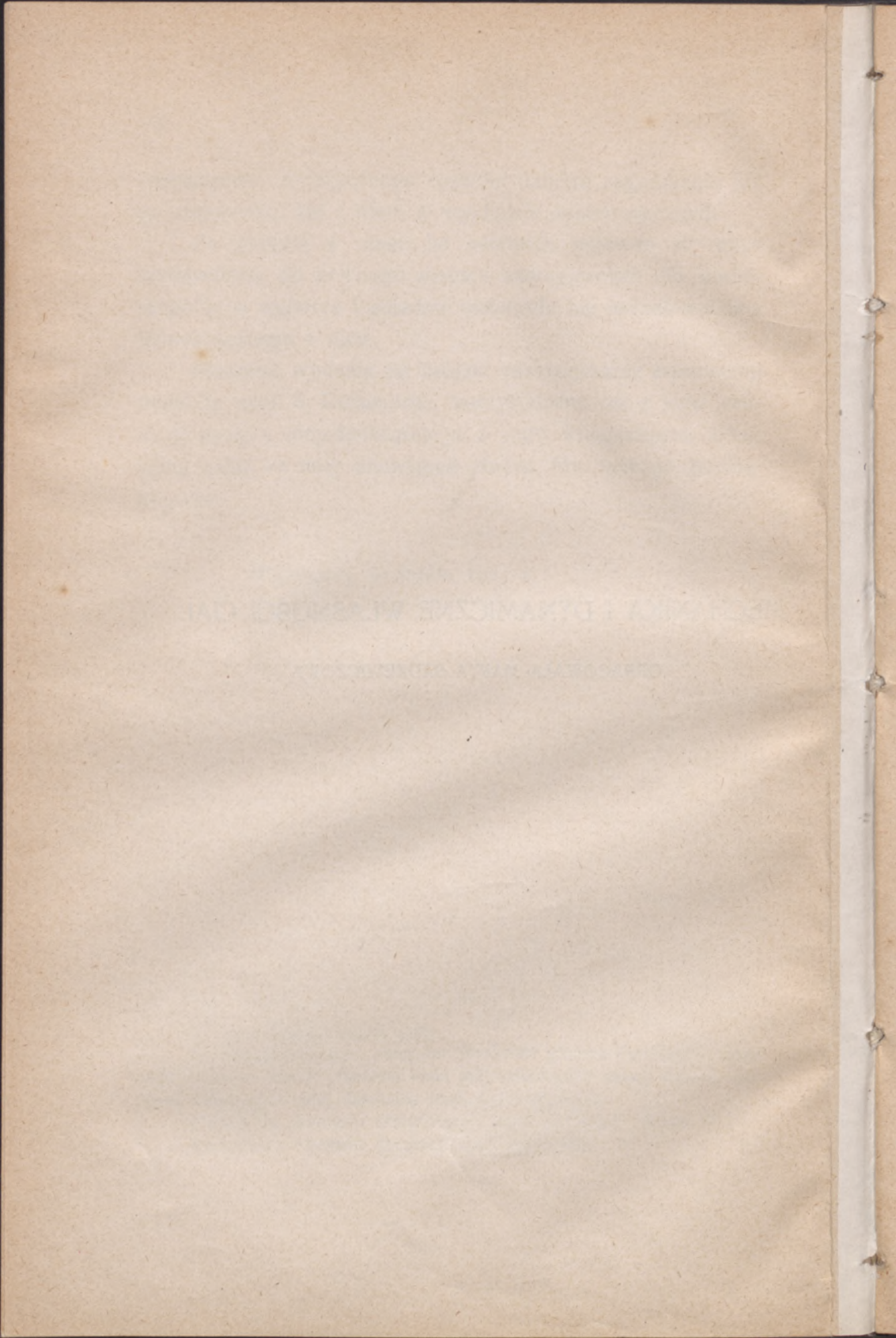
F. D a n n e m a n n. „Aus der Werkstatt grosser Forscher“, Lipsk 1908; stanowi tom II „Historii nauk przyrodniczych“ tegoż autora. Zawiera rozprawy z całej dziedziny nauk przyrodniczych.

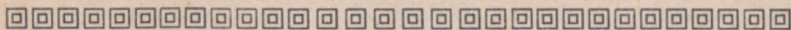
C o u p i n. „Lectures scientifiques sur la physique“. Paryż 1911.

J o u g u e t. Lectures de mécanique. Paryż 1902.

MECHANIKA I DYNAMICZNE WŁASNOŚCI CIAŁ.

OPRACOWAŁA MARYA SADZEWICZOWA.





ARCHIMEDES.

(287—212 przed Chr.)

Archimedes urodził się w Syrakuzach i był krewnym i przyjacielem króla Hierona. Życie jego jest mało znane, było ono opisane przez Heraklidesa, ale opis ten, niestety, zaginął. To, co doszło do nas, zawdzięczamy Polibiuszowi, Cyceronowi, Tytusowi Liviuszowi, Plutarchowi i niektórym innym autorom starożytnym. Charakteryzują oni Archimedes a jako genialnego uczonego, całkowicie oddanego swym rozmyślaniom; musiano mu przypominać o jedzeniu, piciu i chodzeniu do łożni, gdzie nie przestawał kreślić figur geometrycznych nawet na własnym, namaszczone olejami ciele. — Charakterystyce tej odpowiada również znane opowiadanie Witruwjusza w dziele „De architectura“, dotyczące genezy słynnej zasady Archimedes a. Król Hieron, chcąc ofiarować koronę do świątyni, kazał wykonać ją złotnikowi, przeznaczając na ten cel odważoną ilość złota. Złotnik zwrócił koronę odpowiedniej wagi, lecz istniało podejrzenie, iż część złota zachował dla siebie, zastępując ją przez odpowiednią wagę srebra. Król rozstrzygnięcie tej sprawy powierzył Archimedes owi. Uczony długo się zastanawiał nad rozwiązaniem zadania, aż niespodziewanie odpowiedź zajaśniała w jego umyśle w chwili, gdy siedział w wannie; było to prawdopodobnie w związku z odczuciem na własnym ciele działania praw hydrostatyki. Uderzony tą myślą, Archimedes wyskoczył z wanny i biegł nagi ulicami Syrakuz, obwieszczając zdumionym współziomkom radosną wieść „εὕρηκα!“ (heureka, znalazłem); ciało zanurzone w wodzie traci na wadze tyle, ile waży ciecz przez nie wyparta. Korona, dzieło złotnika, zanurzona w wodzie, traciła na wadze więcej, niż równa jej co do wagi ilość złota i mniej niż ilość srebra tej samej wagi. Odkrycie to pozwoliło nie tylko wykryć nadużycie złotnika, ale dokładnie obliczyć domieszkę srebra¹).

Znanem jest również wyrażenie Archimedeśa, dotyczące dźwigni.

Miał on powiedzieć Hieronowi „Daj mi punkt oparcia, a sam jeden poruszę z posad ziemię“, i dla wykazania możności przecięcia dużego oporu przy pomocy małej siły sam jeden w oczach zdumionego króla poruszył w porcie przy pomocy odpowiednich kombinacji dźwigni i bloków ciężki, okuty ołowiem statek. — Po śmierci Hierona i po strąceniu z tronu wnuka jego Hieronima, gdy Syrakuzy, zawarłszy przymierze z Kartaginą, naraziły się przez to na wojnę z Rzymem, Marcellus, wódz rzymski, oblegał Syrakuzy. Wówczas wynalazki Archimedeśa miały długo bronić ojczyzny jego od zguby. Maszyny jego miały grad pocisków na wojska nieprzyjacielskie, ogromne haki żelazne, zawieszane na łańcuchach, chwytaty i przewracały statki nieprzyjacielskie, a promienie słoneczne, skupiane przy pomocy zwierciadeł wklęsłych jego wynalazku, miały zapalać z odległości flotę nieprzyjacielską²⁾. Ostatecznie Rzymianie podstępem zdobyli Syrakuzy, i jednym z pierwszych padł z ręki żołnierza rzymskiego sędziwy Archimedeś, zajęty kreśleniem figur geometrycznych na piasku.

Zgodnie z życzeniem Archimedeśa na grobie jego postawiono walec z wpisaną weń kulą i wrytym wewnątrz napisem, dotyczącym stosunku tych dwu ciał.

W opowiadaniach, dotyczących życia Archimedeśa, trudno odróżnić, co jest prawdą, a co podaniem, wysnutem z fantazyi współczesnych i późniejszych dziejopisów na tle osobistości genialnego matematyka.

Archimedeśa zajmowały przede wszystkim zagadnienia geometryczne. Pierwszy obliczył liczbę π ³⁾ (stosunek długości okręgu koła do średnicy). Wogóle w jego dziełach matematycznych znajdujemy rozwiązanie oryginalne, przed nim nie spotykane wielu zagadnień geometrycznych.

Pod tym względem różni się on od Euklidesa, który genialnie usystematyzował istniejące już materyały. Z dzieł geometrycznych Archimedeśa najbardziej znane są rozprawy następujące: „O kuli i walcu“, „O mierzeniu okręgu koła“, „O konoidach i sferoidach“, „O kwadraturze paraboli“, „O liniach śrubowych“, „O metodzie“⁴⁾. Rozwiązanie zagadnień tych wyprowadza on z trzech pewników, nie uciekając się do pojęcia nieskończoności. — Z pomiędzy innych prac jego znaną jest rozprawa, dotycząca obliczenia ilości ziaren piasku, zawartych w objętości gwiazd stałych. W roz-

prawie tej Archimedes porusza zagadnienie układu świata, trzymając się systemu Arystarcha, podobnego do kopernikańskiego. W obliczeniach swych posługuje się dwoma postęпами: arytmetycznym i geometrycznym, których porównanie doprowadziło w przyszłości do wykrycia logarytmów.

Dla fizyki z pomiędzy dzieł Archimedes a najważniejszymi są dwie rozprawy, z których urywki podajemy poniżej; jedna z nich „O równowadze płaszczyzn“, dotyczy zasady dźwigni, druga zaś „O ciałach unoszących się na płynie“ dąży do teoretycznego uzasadnienia prawa hydrostatyki, znanego pod nazwą zasady Archimedes a.

Prócz tego Archimedesowi przypisywano 40 maszyn i przyrządów, jak zwierciadła wklęsłe, śruba wodna, śruba bez końca, wielokrążek (polispast), planetaryusz i t. d. W dziełach swych nie wspomina jednak Archimedes o swych maszynach, uważając widocznie swe wynalazki praktyczne za rzecz podrzędną w stosunku do swych wywodów teoretycznych. Wogóle w pracach swych Archimedes nie podaje genezy swoich wynalazków, lecz rozwija zagadnienia teoretycznie, traktując dane fizyczne jako hipotezy.

Archimedes a uważać można za założyciela fizyki teoretycznej.

O równowadze płaszczyzn czyli o ich środkach ciężkości *).

KSIĘGA I.

Postulaty.

1. Ciężary równe, zawieszone w odległościach równych, są w równowadze.
2. Ciężary równe zawieszone w odległościach nierównych nie są w równowadze, i ciężar, zawieszony w odległości większej opuszcza się na dół.
3. Jeśli ciężary zawieszone w pewnych odległościach są w równowadze i jeśli dodamy coś do jednego z tych ciężarów, to one nie będą już w równowadze, i ten, do którego dodaliśmy coś, opuści się na dół.
4. Również, jeśli odejmiemy coś od jednego z tych ciężarów, to nie będą już one w równowadze i ten, od którego nic nie odjęliśmy, opuści się na dół.
5. Jeśli dwie figury płaskie podobne^o) nałożone są dokładnie jedna na drugą, to ich środki ciężkości będą leżały jeden na drugim.
6. Środki ciężkości figur nierównych i podobnych są położone podobnie.

*) Łaciński tytuł tej rozprawy, która zawiera sformułowanie i dowód zasady dźwigni, brzmi „De Planorum aequilibriis“. Niniejszy przekład dokonany został z dzieła: „Oeuvres d'Archimèdes traduites littéralement par F. Peyrard, Paris 1807“.

Mówimy, że punkty są położone podobnie w figurach podobnych, jeśli proste poprowadzone od tych punktów ku kątom równym tworzą kąty równe z bokami homologicznymi.

7. Jeśli wielkości, zawieszono w pewnych odległościach, są w równowadze, wielkości równe pierwszym, zawieszono w tych samych odległościach będą również w równowadze.

8. Środek ciężkości figury o konturze wypukłym w jedną stronę będzie leżał z konieczności wewnątrz figury.

Postulaty powyższe przyjmuje Archimedes i na ich podstawie dowodzi następujących twierdzeń:

Twierdzenie I. Jeśli ciężary zawieszono w odległościach równych są w równowadze, to ciężary te są sobie równe.

Gdyż, jeśli by one były nierówne i jeśli byśmy od większego odjęli jego nadmiar, to ciężary pozostałe nie byłyby w równowadze, ponieważ odjęlibyśmy coś od jednego z ciężarów, które były w równowadze (Postulat 3). A więc jeśli ciężary zawieszono w odległościach równych są w równowadze, to ciężary te są sobie równe.

Twierdzenie II. Ciężary nierówne, zawieszono w odległościach równych, nie są w równowadze, i ciężar większy opuszcza się na dół.

Gdyż jeśli odejmiemy nadmiar, ciężary te będą w równowadze, bowiem ciężary równe znajdujące się w odległościach równych są w równowadze (Post. 1). A więc jeśli następnie dodamy to, co zostało odjęte, większy z obu ciężarów opuści się na dół, gdyż dodaliśmy coś do jednego z ciężarów, które były w równowadze (Post. 3).

Twierdzenie III. Ciężary nierówne, zawieszono w odległościach nierównych, mogą znajdować się w równowadze, i wtedy większy z nich będzie zawieszony w odległości mniejszej.

Niech A , B (fig. 1.) będą ciężary nierówne i niech A będzie większy. Niech te ciężary, zawieszono w odległościach nierównych AG , GB będą w równowadze. Trzeba udowodnić, że długość AG jest mniejsza, niż długość GB . Przypuśćmy, że długość AG nie jest mniejsza. Odejmijmy nadmiar jaki

A posiada w stosunku do B . Ponieważ odjęliśmy coś od jednego z ciężarów, które znajdują się w równowadze, ciężar B opuści się na dół (Post. 4). Lecz ciężar ten nie opuści się na dół, gdyż, jeśli GA jest równem GB , równowaga będzie zachodzić (Post. 1), jeśli zaś GA jest większe od GB , to przeciwnie ciężar A opuści się na dół; ponieważ ciężary

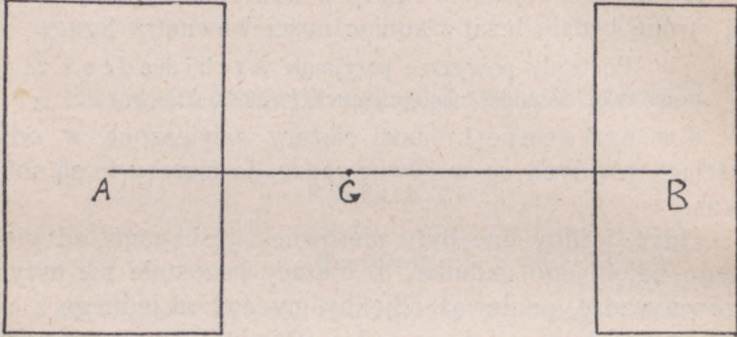


Fig. 1.

Równowaga ciężarów nierównych.

równe, zawieszone w odległościach nierównych, nie pozostają w równowadze, i ciężar zawieszony w odległości większej opuszcza się na dół (Post. 2). A więc GA jest mniejsze niż GB . Jeśli więc ciężary zawieszone w odległościach nierównych są w równowadze, oczywiście jest, że ciężary te są nierówne i że większy będzie zawieszony w odległości mniejszej.

Rozumując dalej w ten sposób, dochodzi Archimedes do znanych praw dźwigni, które formułuje w sposób następujący:

Wielkości współmierne są w równowadze, jeśli są one odwrotnie proporcjonalne do odległości w których są zawieszane. Wielkości niewspółmierne są w równowadze, kiedy wielkości te są odwrotnie proporcjonalne do odległości w których są zawieszane.

O ciałach, które unoszą się na płynie.

KSIĘGA I.

Hypoteza pierwsza. Przypuszczamy, iż płyn posiada taką własność, że części jego są rozmieszczone równomiernie i są pomiędzy sobą ciągłe; ta część, która jest mniej ściśnięta, jest wypychana przez tę, która jest bardziej ściśnięta. Każda część płynu jest ściskana w kierunku pionowym przez część znajdującą się ponad nią, zarówno w tym wypadku, kiedy płyn gdzieś spływa, jako też, kiedy jest wypychany z jednego miejsca na drugie.

T e z a I. Jeśli powierzchnia, przecinana przez płaszczyznę, przechodzącą stale przez ten sam punkt, daje w przecięciu okrąg koła, którego środkiem jest punkt, przez który przechodzi płaszczyzna przecinająca, to powierzchnia taka jest powierzchnią sferyczną....

Dowodzenie tej tezy jak i następnych II, III, IV-ej opuszczamy.

T e z a II. Powierzchnia każdego płynu znajdującego się w spoczynku jest sferyczna i środek tej powierzchni sferycznej jest ten sam, co i środek ziemi.

T e z a III. Jeśli ciało przy równej objętości ma ten sam ciężar, co płyn do którego jest wpuszczone, zanurzać się

*) Przekład dokonany został z dzieła „Oeuvres d'Archimèdes traduites littéralement par F. Peyrard, Paris 1807“.

ono w nim będzie aż do chwili, gdy żadna część jego nie pozostanie ponad powierzchnią płynu, lecz nie opuści się jeszcze niżej.

Teza IV. Jeśli ciało lżejsze od płynu pozostawione jest w płynie, to część tego ciała zostanie ponad powierzchnią płynu.

Teza V. Jeśli ciało lżejsze od płynu pozostawione jest w tym płynie, zanurzać się ono w nim będzie, dopóki objętość płynu, równa objętości tej części ciała, która jest zanurzona, nie będzie miała tego samego ciężaru, co całe ciało.

Przypuśćmy, że płyn jest w spoczynku i że ciało $EHTF$ (fig. 2) jest lżejsze od płynu. Jeżeli płyn jest w spoczynku, to części jego, które są jednakowo położone*), znajdują się pod jednakowym ciśnieniem. Płyn więc, znajdujący się pomiędzy powierzchniami XO, OP , znajduje się pod ciśnieniem jednakowych ciężarów. Lecz ciężar płynu znajdującego się

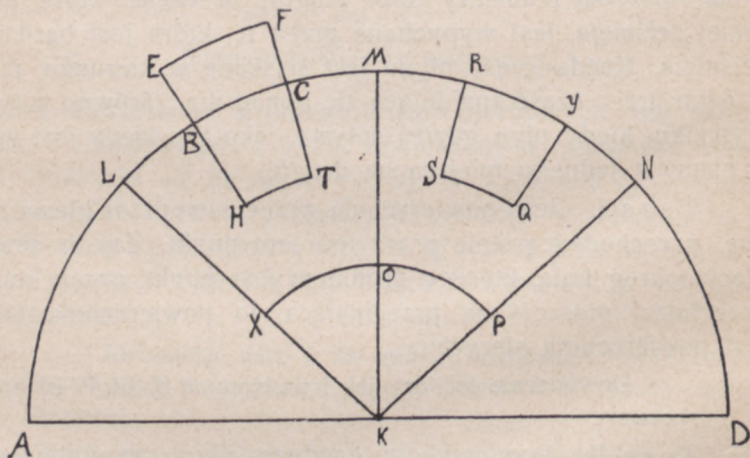


Fig. 2.

Równowaga przy pływaniu ciał.

w pierwszym ostrosłupie jest, za wyjątkiem ciała $BHTC$, równy ciężarowi płynu znajdującego się w drugim ostrosłupie, za wyjątkiem płynu $RSQY$. Skąd wynika, iż objętość

*) t. j. które są położone w tym samym poziomie⁵⁾.

plynu, równa zanurzonej części ciała, ma ten sam ciężar, co całe ciało.

Teza VI. Jeśli ciało lżejsze od płynu zanurzymy w tym płynie, ciało to wynurzy się z tem większą siłą, im większy będzie ciężar równej objętości płynu w stosunku do ciężaru tego ciała.

Dowód tej tezy opuszczamy.

Teza VII. Jeżeli ciało cięższe od płynu wpuścimy do tego płynu, będzie ono opadało, dopóki nie dosięgnie dna, i ciało to stanie się tem lżejsze w tym płynie, im większy będzie ciężar części tego płynu, wziętego w objętości tego ciała.

Oczywistem jest, iż ciało cięższe od płynu, puszczone do tego płynu opadać będzie na dół, dopóki nie dosięgnie dna; gdyż części płynu, które są pod niem są bardziej ściśnięte, niż części bezpośrednio do nich przyległe, przypuściliśmy bowiem, iż ciało jest cięższe od płynu.

Tego, iż ciało staje się lżejsze, dowodzi się sposobem następującym: Przypuśćmy, że ciało stałe A jest cięższe od płynu; niech $BC^*)$ oznacza ciężar ciała A i niech B oznacza ciężar części płynu, która ma objętość równą objętości A . Trzeba udowodnić, iż ciało A , zanurzone w płynie, ma ciężar równy C . Weźmy jakieś inne ciało D , lżejsze od płynu, którego ciężar niech się równa B , niech $BC^*)$ będzie ciężarem części płynu, mającego objętość ciała D . Połączone ciała A i D będą miały ten sam ciężar co i płyn, gdyż ciężar sumy tych dwóch ciał równy jest sumie ciężarów BC i B . Lecz ciężar części płynu, mającej objętość równą sumie tych dwóch ciał równy jest sumie ciężarów; ciała te więc, puszczone i zanurzone w płynie, będą miały ten sam ciężar, co i płyn, nie będą więc pchane ani ku górze, ani ku dołowi, gdyż ciało A , które jest cięższe, niż płyn, pchane będzie ku dołowi i wypychane z tą samą siłą ku górze przez ciało D . Lecz ciało D , lżejsze od płynu, wypychane będzie ku górze z siłą równą ciężarowi C ; wykazaliśmy bowiem, iż

*) Raczej $B+C$.

ciało lżejsze od płynu wypychane jest ku górze z siłą tem większą, im większym jest ciężar tej samej objętości płynu w stosunku do ciężaru ciała. Lecz część płynu tej samej objętości co D jest cięższa od D o ciężar C ; oczywiście więc jest, iż ciało A pchane jest ku dołowi ciężarem równym C , czego też należało dowieść.

U W A G I.

1) (Str. 3) Oznaczmy przez:

q ciężar złota, przeznaczonego na koronę

q' ciężar tej samej masy złota w wodzie

wtedy, według zasady Archimedesesa, gęstość złota d wyrazi się wzorem

$$d = \frac{q}{q - q'}$$

Ten sam ciężar q srebra ważył w wodzie q_1' , a więc gęstość d_1 srebra wyrazi się wzorem

$$d_1 = \frac{q}{q - q_1'}$$

Jeśli złotnik zastąpił część złota q_x przez srebro tej samej wagi, to średnią gęstość d'' korony oznaczyć można, zważwszy ją w wodzie. Jeśli ciężar jej w wodzie wynosi q'' , — to na podstawie zasady Archimedesesa

$$d'' = \frac{q}{q - q''}$$

Ponieważ przez q_x oznaczyliśmy domieszkę srebra, którą należy określić, przeto

$q - q_x$ oznacza wagę złota w koronie.

Objętość wyraża się ilorazem ciężaru przez gęstość, przeto

$$\frac{q - q_x}{d} + \frac{q_x}{d_1} = \frac{q}{d''}$$

Z równania tego wyznaczamy niewiadomą q_x (domieszkę srebra)

$$q_x = \frac{d_1 d'' - d d_1}{d_1 d'' - d d''} q$$

2) (Str. 4) Wersya ta jest oczywiście zupełnie nieprawdopodobna.

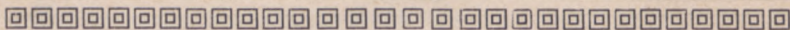
³⁾ (Str. 4) Miarę stosunku okręgu koła do średnicy Archimedes formułuje w słowach następujących: Okrąg koła równy jest trzykroć razy średnicy, więcej ułamek średnicy, który jest mniejszy niż siódma jej część i większy niż dziesięć razy siedmdziesiąta pierwsza $\left(\frac{1}{7} > x > \frac{10}{71}\right)$

⁴⁾ (Str. 4) „Rozprawa o metodzie“ nieznaną do niedawna, odnanalezioną została w r. 1899 w rękopisie z X wieku. Rozprawa zachowana w rękopisie tym niemal w całości zawiera wykład metody granic i zastosowanie jej do wykrywania pewnych stosunków geometrycznych, stanowiących treść odpowiednich twierdzeń geometrycznych. Dla wykrytych metodą tą twierdzeń szukał następnie Archimedes ścisłych dowodów geometrycznych.

„Metoda“ Archimedesesa jest właściwie metodą całkowania, która dopiero w dziewiętnaście wieków po śmierci Archimedesesa opracowana została niezależnie od niego przez Newton'a i Leibnitz'a. Metody swej używa Archimedes między innymi do obliczania momentu siły względem prostej i płaszczyzny.

⁵⁾ (Str. 10) W tem miejscu Archimedes formułuje znane prawo hydrostatyki i z prawa tego wyprowadza warunki pływania ciał.

⁶⁾ (Str. 6) Czyli podobne i równe.

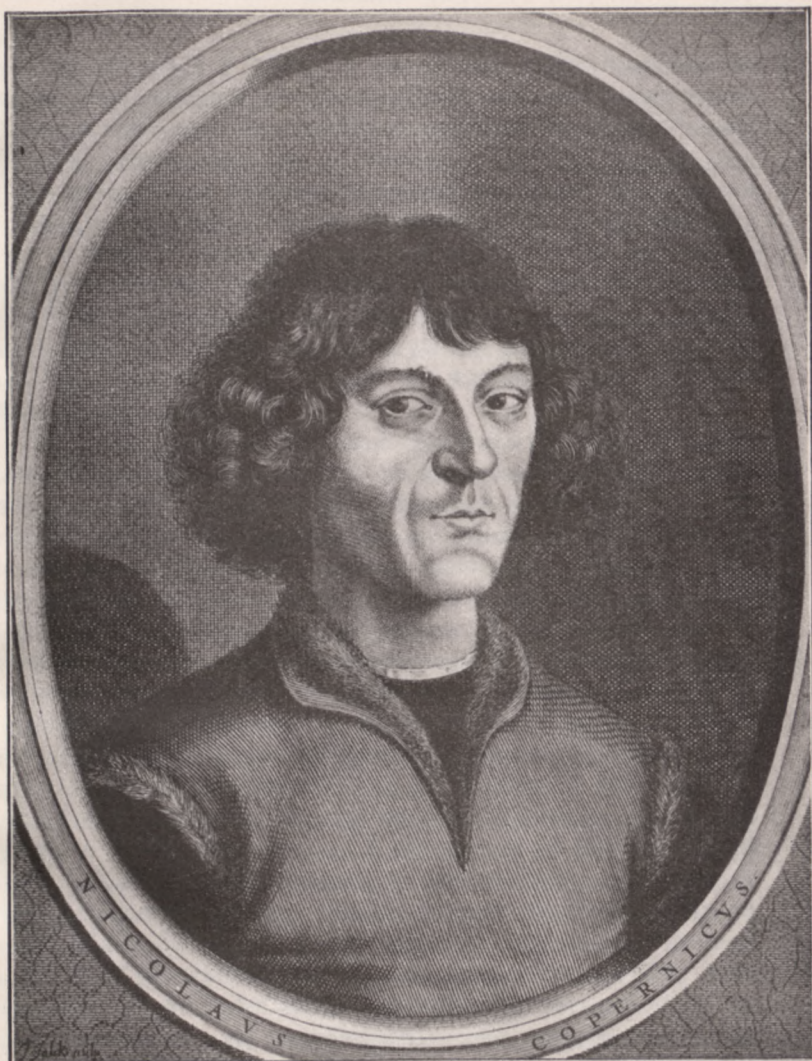


MIKOŁAJ KOPERNIK.

(1473—1543).

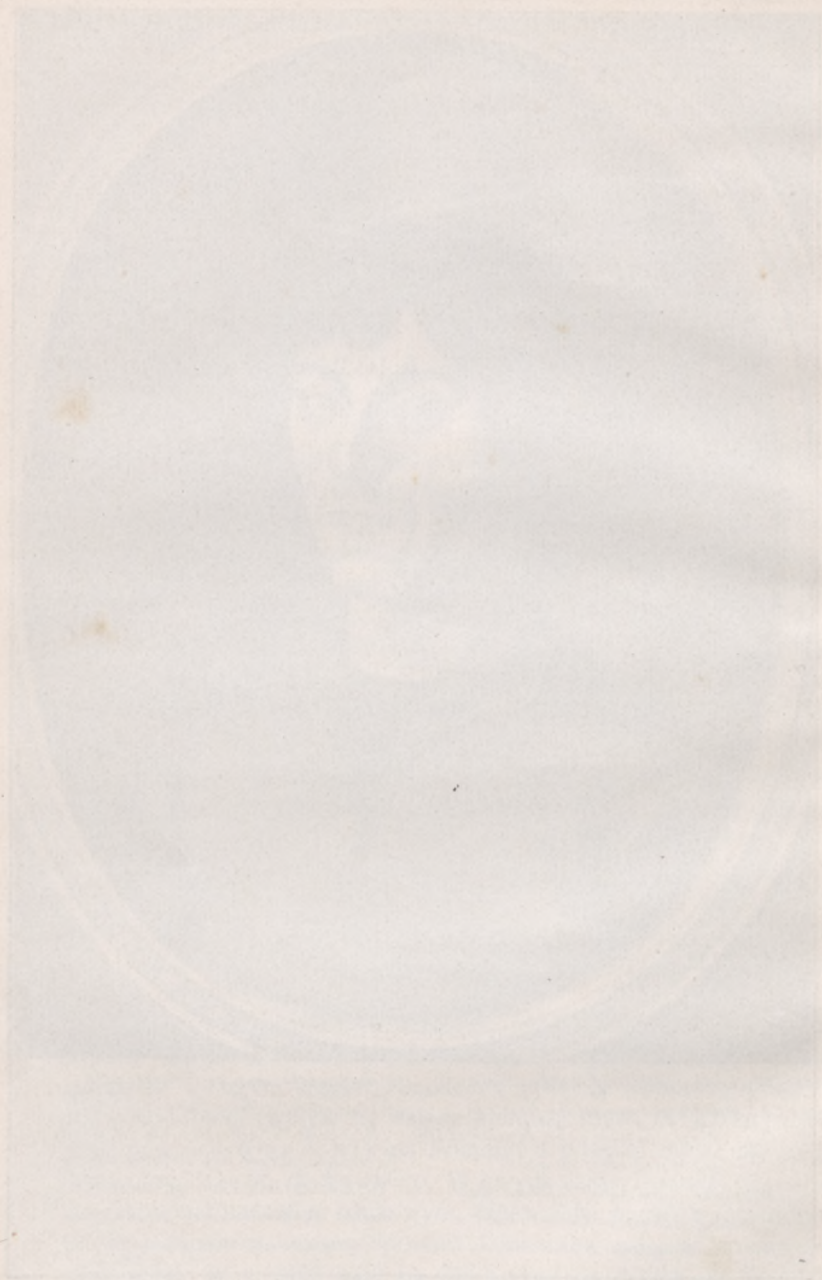
Mikołaj Kopernik urodził się w Toruniu, który znajdował się wówczas pod berłem polskim. Ojciec jego, również Mikołaj, przeniósł się do Torunia z Krakowa, gdzie rodzina Koperników należała do znanych rodzin mieszczańskich; członkowie jej piastowali różne urzędy miejskie i zajmowali się rzemiosłami. Do Krakowa rodzina Koperników przeszła prawdopodobnie ze Szlązka (a więc ziemi również polskiej) z osady, noszącej miano Kopernik, która do dziś dnia na Szlązku istnieje, a wymieniana była już w wieku XIII. W Toruniu ojciec astronoma ożenił się z Barbarą Wajselrodówną, pochodzącą z zamożnej szlachty pomorskiej, i przez czas dłuższy zajmował urząd ławnika. Brat Barbary, Łukasz Wajselrod, był biskupem warmińskim. O dzieciństwie przyszłego astronoma nic prawie nie wiemy. Ojciec odumął go dzieckiem, wychowaniem jego oraz starszego jego brata Jędrzeja zajął się biskup warmiński. Po ukończeniu szkół w Toruniu, Mikołaj Kopernik został w roku 1491 wysłany przez wuja do Akademii Krakowskiej, gdzie przez dwa lata studiował medycynę oraz nauki matematyczne; zajmował się też malarstwem.

Jednym z profesorów Akademii był Wojciech z Brudzewa, znakomity astronom i matematyk, którego wykład ściągali do Krakowa młodzież z Czech, Węgier, Niemiec, a nawet ze Szwecyi; wywarł on prawdopodobnie wpływ na dalszy kierunek myśli Mikołaja. W r. 1493 powrócił Kopernik na Pomorze i powziął myśl, aby śladem wuja obrać zawód duchownego. W owych czasach zawód ten najbardziej sprzyjał badaniom naukowym, zapewniając spokój i niezależność; wielu profesorów, lekarzy, poetów i filozofów należało do stanu duchownego. W r. 1495 udał się Mikołaj do Włoch dla wydoskonalenia się w medycynie i filozofii. Na uniwersytecie w Padwie



*Natura nerus iste faber fuit. Allosa terras
 Refrutat magna cum ratione senex.
 Quon callemur. hamum, modica surpennit in astris
 Et Luna comitis altius ire cupit.
 Meccenris pufes migrat de fediis. ipso
 Immenis medium Hyathus orbis habet
 Hunc circam raptamur et omnis manlina mundi.*

*Immotique hominum quilibet igne calet.
 Inversa est rerum facies. Sumana quid ultra
 Mens queat: hic nostris terminus ingenii est.
 Caucta sibi constant. locus noctaque. mentis que
 Est labor. hoc caelos conlittuisse. moda.
 Confudit mundum Ptolemaus gentibus. unus
 Hic rerum potuit reddere. quis poterit?*



zapisał się do album Polaków; z Padwy robił częste wycieczki do Bononii, gdzie zajmował się obserwacjami astronomicznymi razem ze znanym wówczas astronomem Dominikiem Maryą z Ferrary. W r. 1499 doktoryzował się w Padwie z filozofii i medycyny. W tym czasie biskup warmiński mianował obu swych siostrzeńców kanonikami i wyjednał u kapituły fundusze na dalszą ich edukację; to też po krótkim pobycie w kraju Mikołaj wraca do Włoch, gdzie, przedstawiony przez Dominika z Ferrary papieżowi Aleksandrowi VI-mu, otrzymuje katedrę matematyki i astronomii w Rzymie. Podanie głosi, że wykłady jego cieszyły się liczną frekwencją; pomimo tego powraca on w r. 1503 do Krakowa, gdzie przyjmuje święcenie kapłańskie.

W czasie pobytu we Włoszech Kopernik, prócz wydoskonalenia się we współczesnych mu metodach badań astronomicznych, miał sposobność zetknięcia się z literaturą starożytną i teoryjami uczonych greckich, dotyczącymi budowy świata. Tu już szukać należy narodzin wielkiej idei o obrocie ziemi i ciał niebieskich, która zapewnić miała Kopernikowi nieśmiertelność. W epoce przed Kopernikiem wszechwładnie panował w nauce astronomicznej system Ptolomeusza, system geocentryczny, t. j. przypisujący ziemi centralne stanowisko we wszechświecie. Ptolomeusz, urodzony w Egipcie żył w Aleksandrii w II. w. po Chr. Ujął on w system spostrzeżenia dawniejszych astronomów, głównie Hipparcha. Księga jego w r. 827 została przełożona na język arabski i znana jest pod arabską nazwą *Almagestu*. Według księgi tej, nieruchoma ziemia znajduje się w środku wszechświata, a dokoła niej po epicyklach krążą księżyc, słońce i planety. Epicykle te były to krzywe tak skomplikowane, że sam Ptolomeusz miał się wyrazić, że „łatwiej chyba poruszać planety, niż pojąć ich ruch złożony“. Stanowisko Ptolomeusza tłumaczy się stanem pojęć mechanicznych w jego epoce, które ograniczały się do teorii ruchu Arystotelesa*). Nieznane było ani prawo bezwładności, ani ciężenie powszechne, nieznany był również bezmiar przestrzeni międzyplanetowych. Astronomowie i matematycy zwalczali przeto teorie obrotu ziemi, które istniały już przed Ptolomeuszem. Miały one być pochodzenia egipskiego i rozwijane były przez Pitagorasa (582—500 przed Chr.) i filozofów greckich szkoły pitagorejskiej. Z tymi poglądami dawnych astronomów zapoznał się Mikołaj Kopernik we Włoszech.

*) P. życiorys Galileusza.

Po powrocie z Włoch w r. 1503 Kopernik osiadł w Krakowie, nawiązał stosunki z uczonymi, którzy gromadzili się koło Akademii Krakowskiej, i tu również w r. 1507 rozpoczął swoje wielkie dzieło „O obrotach ciał niebieskich“.

W r. 1509 biskup Łukasz Wajselrod powołał go do Warmii, do Frauenburga, gdzie odtąd przez lat 33 stałe przebywał, biorąc, obok zajęć naukowych, czynny udział w sprawach publicznych.

W r. 1523 został wybrany na administratora dyecezyi i bronił kapituły od zakusów krzyżackich. W r. 1526 opracował na żądanie króla Zygmunta Starego rzecz „De optima monetae cadendae“, zawierającą projekt uregulowania kwestyi menniczej na Pomorzu.

Koło roku 1526 Kopernik zdał rządy kapituły Ferberowi, sam zaś oddał się znowu medycynie (bezinteresownie lecząc i wspierając ubogich) oraz astronomii. Przy kościele Frauenburskim zbudował obserwatorium; drugie mniejsze obserwatorium astronomiczne miał na wsi w Obertyнку, który wziął w zarząd od kapituły. Dom mieszkalny w Obertyнку urządził Kopernik odpowiednio do pracy naukowej.

Tu dojrzała wielka idea Kopernika. Nie spieszył się jednak z ogłoszeniem jej. Nie chciał się narażać na zatarg z Watykanem, gdyż twierdzenie jego wydawało się sprzecznem z biblijnem powiedzeniem Jozuego „Stój słońce“, władze zaś kościoła katolickiego, narażone w tym czasie na walkę z reformacją, mogły w idei jego dopatrywać się nowego odszczepieństwa. Jednak treść idei jego, rozchodząc się drogą prywatną, dotarła do uczonych zachodnio-europejskich (Erazma z Rotterdamu) i do Rzymu. Kopernik w r. 1536 odebrał od Kardynała Mikołaja Schemberga z Rzymu list, zachęcający go do ogłoszenia dzieła drukiem. Uczeni niemieccy wysłali w r. 1539 Jerzego Rethika, profesora matematyki z Wittenbergu, do Kopernika, u którego spędził on czas pewien, zapoznając się z treścią jego dzieła. W r. 1540 Rethik ogłosił drukiem streszczenie trzech pierwszych ksiąg dzieła Kopernika. Wreszcie Kopernik, ulegając namowom przyjaciół, zdecydował się na wydanie swego dzieła i napisał przedmowę do papieża Pawła III.

Papież, znawca matematyki, dedykację przyjął i w nauce Kopernika nie widział błędu. Dopiero w r. 1616 została ona potępiona przez kongregacyę Indexu*). Dzieło Kopernika drukowane było w Norymberdze, zajęli się tem uczeni niemieccy Osiander

*) Pisma Kopernika zostały skreślone z indexu w r. 1835.

i Jan Schoner i pierwszy jego egzemplarz przeszali do Frauenburga dogorywającemu autorowi. Kopernik zmarł w r. 1543 w wieku lat 70.

Dzieło „De revolutionibus orbium coelestium“ pisane było po łacinie. Treść jego dzieli się na sześć ksiąg. Zawiera ono z dzisiejszego stanowiska nauki pewne błędy (Kopernik przypisywał, na przykład planetom bieg kołowy); błędy te zostały w następstwie poprawione przez Keplera (1571—1630). Wielka idea Kopernika zapłodniła umysły późniejszych badaczy i doprowadziła w dalszej konsekwencji Newtona do odkrycia ciężenia powszechnego.



O obrotach ciał niebieskich *).

ROZDZIAŁ I.

Czy ziemia podlega biegowi kołowemu i o miejscu jej w przestrzeni.

Ponieważ okazaliśmy, że ziemia ma postać kulistą, uważam za rzecz potrzebną dochodzić, czy i bieg odpowiada jej postaci, oraz jakie miejsce ziemia zajmuje w przestrzeni świata, bez czego niepodobna jest wskazać prawdziwej przyczyny dostrzeganych zjawisk niebieskich. Lubo uczeni zwykle zgadzają się na to, że ziemia w środku świata spoczywa, tak iż uważają za rzecz nieprzypuszczalną, a co większe nawet za śmieszną, przeciwnie utrzymywać; wszelako, jeżeli nad tym przedmiotem pilniej się zastanowimy, pokaże się to zadanie jeszcze nie rozwiązane, i dlatego pomijać go nie wypada.

Każda bowiem dostrzegana zmiana w położeniu ciała następuje albo wskutek ruchu ciała uważanego, albo ruchu postrzegacza, albo przynajmniej od nierównej zmiany ich obydwoich; gdyż między ciałami w tymże kierunku jednostajnie bieg odbywającymi nie dostrzegamy zmiany między przedmiotem uważanym a dostrzegaczem. Ziemia jest stanowiskiem,

*) „Nicolai Copernici, Torunensis, de Revolutionibus orbium coelestium Libri sex“. Dzieło wydane w Norymberdze w r. 1543. — Podajemy wyjątki w przekładzie Jana Baranowskiego, wydanym w Warszawie w r. 1854.

z którego ów bieg uważamy i który się oczom naszym przedstawia. Jeżeli więc jaki bieg ziemi przyznamy, bieg ten we wszystkich ciałach zewnątrz niej położonych okazać się powinien, lecz w kierunku przeciwnym, jak gdyby te ciała koło niej się przesuwaly, co też właśnie przed innemi pokazuje obrót dzienny nieba. Ruch ten zdaje się całe niebo unosić, wyjąwszy ziemię i ciała około niej będące. Jeżeli zaś przyjmiemy, że niebo żadnego udziału niema w tym biegu, ale ziemia obraca się od zachodu na wschód, tak iż nam się wydawać będzie, jakoby słońce, księżyc i gwiazdy wschodziły i zachodziły, i jeżeli nad tem gruntownie się zastanowimy, poznamy, że tak jest rzeczywiście... Zaiste Heraklides i Ekfant Pitogorejczycy i Nicetas z Syrakuzy podług Cycerona, byli tego zdania: że ziemia w środku świata obraca się...

ROZDZIAŁ IX.

Czy można ziemi przyznać więcej biegów i o środku świata.

Gdy zatem nic nie sprzeciwia się uznać poruszalność ziemi, sądzę, że teraz wypada dochodzić, czy ona jeszcze innym nie podlega biegom, aby ją można do rzędu gwiazd ruchomych policzyć. Że ziemia nie jest środkiem wszystkich obrotów, dowodzi to bieg pozorny niejednostajny planet i ich zmienne odległości od ziemi, których na kole spółśrodkowem z ziemią wyobrazić sobie niepodobna. Gdy więc wiele znajduje się środków, zatem o środku także świata, nie bez przyczyny ktoś powątpiewać może, czy nim jest środek ciężkości ziemskiej, lub też inny jaki. Ja sądzę, że ciężenie niczem innym niż jest, tylko pewną dążnością przyrodzoną¹⁾, nadaną cząstkom ciał od boskiej opatrności, sprawczyni wszystkiego, ażeby te do jedności i całości zmierzwały, i łączyły się z sobą w postać kuli. Można sądzić, że słońce, księżyc i inne planety obdarzone są tą własnością, aby skutkiem jej utrzymywały się w tej kulistości, w jakiej się przedstawiają, a pomimo to jednak w różny sposób

odbywają swe biegi. Jeżeli więc ziemia odbywa inne biegi, jak na przykład około środka, takowe koniecznie okaże się w wielu ciałach zewnątrz położonych, a przedewszystkiem w biegu rocznym słońca. Jakoż, jeżeli zamiast biegu słońca, położymy bieg ziemi, a słońce będziemy uważać za nieruchome, wtedy wschód i zachód znaków zwierzyńcowych i gwiazd stałych, czyniący je rannemi i wieczornemi, tymże samym sposobem nam się przedstawią. Również stanowisko planet, ich biegi wsteczne i kierunkowe, okażą się nie od nich, ale od biegu ziemi zależnemi, którą one do swych pozornych biegów od niej przybierają. Na ostatek, słońce samo uważać będziemy w środku świata stojące. Czego wszystkiego uczy nas prawo porządku, według którego ciała niebieskie po sobie następują i harmonia całego świata, bylebyśmy na to pilną uwagę zwrócili.

ROZDZIAŁ X.

Porządek ciał niebieskich.

Z rozdziału tego przytaczamy rysunek (fig. 3) wyobrażający układ planetarny według systemu Kopernika; dajemy dla porównania wyobrażenie układu planetarnego według Ptolomeusza (fig. 4), oraz rysunek ilustrujący prawa Keplera (fig. 5), następnie przytaczamy urywek tekstu, którego pewne ustępy zawierają zasady metodyczne rozwinięte następnie przez Newtona w jego „Prawidłach badania przyrody“.

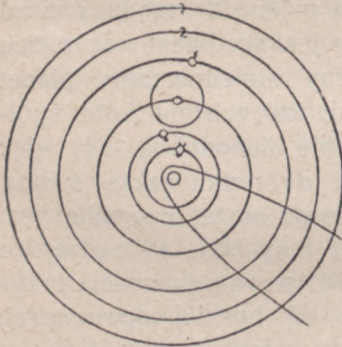


Fig. 3.

Systemat Kopernika.

...Ponieważ słońce jest niewzruszone, wszelki bieg pozorny w nim dostrzegany, przez rzeczywisty bieg ziemi tłumaczyć się daje. Ogrom świata jest tak wielki, że lubo owa odległość ziemi od słońca względnie do wielkości dróg

innych planet ma stosunek widoczny, porównana jednak z wielkością sfery gwiazd stałych, zdaje się być niczem; na co łatwiej jak sądzę można przystać, aniżeli zatrudniać



Fig. 4.

Ptolomeusza systemat świata.

umysł nieskończoną prawie liczbą sfer, co też właśnie zmuszeni są czynić ci, którzy ziemię w środku świata zatrzy-

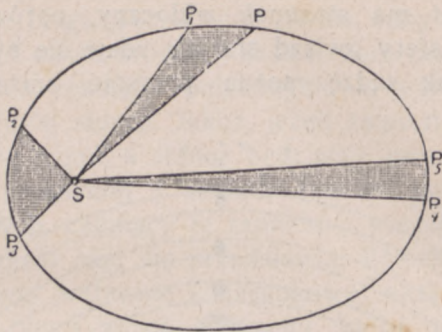


Fig. 5.

Ziemia i inne planety krążą około słońca po elipsach, a słońce znajduje się w jednym z ognisk każdej z tych elips (1-e prawo Keplera).

mali. Najwłaściwiej jest postępować za przezorną przyrodą, która najmocniej się strzegła tworzyć coś zbytecznego, lub nieużytecznego, a często jedną rzecz obdarzyła wielorakimi skutkami²⁾.

UWAGI.

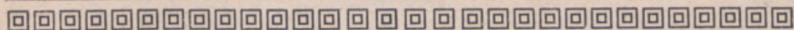
¹⁾ (Str. 19) Słowa te świadczą o tem, że sama idea ciężenia powszechnego była znana Kopernikowi; Newton dał jej podstawy ilościowe.

²⁾ (Str. 22) Porówn. Newtona „Prawidła badania natury“ — Prawidło I, str. 54.



J. Zucchi sculp.





GALILEUSZ.

(1564—1642).

Galileusz (Galileo Galilei) pochodził ze znakomitej, lecz zubożałej rodziny florenckiej. Urodził się w Pizie, jako syn pierwotny Wincentego (Vincenzo) Galileusza, który był człowiekiem wysoce wykształconym, znał literaturę klasyczną i matematykę, posiadał zwłaszcza gruntownie teorię muzyki, i sam pięknie grał na lutni. Młody Galileusz od wczesnego dzieciństwa wykazywał różnostronne i wybitne uzdolnienia. Ojciec przeznaczał go początkowo do zawodu handlowego, chcąc mu zapewnić byt materialny. Oddał go jednak początkowo do szkoły we Florencji, następnie zaś do szkoły klasztornej w Valembrosa pod Florencją. Tu zdobył Galileusz znajomość języków starożytnych i literatury klasycznej, oraz logiki i dyalektyki. Postępy jego w naukach były tak znakomite, że ojciec zmienił swój zamiar pierwotny i wysłał go do uniwersytetu Pizańskiego na medycynę, która mogła mu również dać pewne korzyści materialne.

Udawszy się w r. 1501 na uniwersytet w Pizie, młody Galileusz zaczął przede wszystkim uczęszczać na kurs filozofii. Bogata indywidualność jego znalazła widocznie grunt odpowiedni i rozwijała się zadziwiająco różnostronnie: był on zdolnym muzykiem-kompozytorem, obrazy jego znajdowały uznanie u wybitnych malarzy owoczesnych, jego styl wytworny i bogaty wróżył mu świetną karierę literacką, a wymowa i zdolności towarzyskie zapewniały mu powodzenie w świecie. Równocześnie myśl jego pracowała poważnie nad zagadnieniami, dotyczącymi filozofii przyrody. W filozofii panował w owym czasie kierunek perypatetyczny, zapoczątkowany przez Arystotelesa, a wypaczony przez niektórych jego następców.

W zastosowaniu do fizyki zwolennicy tego kierunku trzymali się metody dedukcyjnej.

Wychodząc z pewnych założeń lub hipotez wyjętych z dzieł Arystotelesa, wysnuwali z nich drogą sylogizmów pewne wnioski, dotyczące tego, jak zjawiska powinny zachodzić w przyrodzie; wniosków tych jednak nie sprawdzali doświadczalnie. Prócz tego przy wyjaśnianiu zjawisk posługiwali się pojęciem „własności ukrytych”. Na zapytanie np., dlaczego magnes przyciąga żelazo, fizyka perypatetyczna dawała mniej więcej następującą odpowiedź: w obecności magnesu substancja żelaza nabiera pewnej własności ukrytej i naturą tej zdolności jest przyciąganie żelaza do magnesu *).

Jałowe te metody nie mogły zadowolić Galileusza; spostrzegawcze jego oko umiało widzieć zjawiska, zaś filozoficzny kierunek jego umysłu kazał mu w zjawiskach doszukiwać się praw nimi rządzących. W 19 roku życia, obserwując w kościele w Pizie wahania lampy, zawieszanej na długim sznurze i mierząc czas wahań uderzeniami własnego pulsu, dochodzi on do sformułowania prawa izochronizmu drgań wahadła¹⁾.

W tym czasie również wykład matematyki opata Ricci zwraca w tym, dotąd obcym Galileuszowi kierunku, jego zainteresowania. Pod kierunkiem Ricci'ego zapoznaje się Galileusz z geometryą Euklidesa i z dziełami Archimedesusa.

Studia te prowadzą go do samodzielnych prac w tej dziedzinie: robi on poprawki w teorii środka ciężkości ciał sztywnych i buduje na podstawie zasady Archimedesusa wagę hydrostatyczną (bilancetta). Prace te zwracają na młodego uczonego uwagę Guido'na Ubaldi'ego, i za jego poparciem zostaje on powołany w r. 1589 na katedrę matematyki w Pizie. Wkrótce potem wykonywa on szereg doświadczeń nad spadaniem ciał ciężkich, zrzucając ciała różnej objętości i masy z pochyłej wieży w Pizie i dochodzi do prawa proporcjonalności pomiędzy czasem a prędkością ciał spadających oraz do prawa niezależności prędkości ciał przy spadaniu od ich masy. Wyniki badań swoich podawał w wykładach, które cieszyły się niezwykłą frekwencją, wywołały jednak niezadowolenie ze strony zwolenników fizyki perypatetycznej, którzy utrzymywali, że prędkość ciała spadającego jest proporcjonalna do jego masy. Z tego powodu w r. 1592 Galileusz opuszcza Pizę i przenosi się do Padwy, również na katedrę matematyki, gdzie pracuje aż do roku 1610, otoczony przyjaciółmi, między którymi znajdują się Salviati i Sagredo (późniejszy doża wenecki),

*) p. Duhem „Ewolucja mechaniki“ str. 6.

których Galileusz uwiecznił w swych dyalogach. Na ten okres przypada wynalazek termometru powietrznego.

Termometr ten (fig. 6) składał się ze szklanej kuli z przyłutowaną doń długą wąską rurką. Po ogrzaniu kuli, kiedy część powietrza została z niej wyparta, koniec rurki zanurzony był w naczyniu z wodą. Powietrze, oziębiając się, kurczyło się, i woda z naczynia podnosiła się w rurce. Wysokość poziomu wody w rurce mierzyła przeto temperaturę powietrza otaczającego. Termometr taki był niestety również wrażliwy na zmiany ciśnienia atmosferycznego.

W tym też czasie Galileusz zbudował teleskop, który dawał trzydziestokrotne powiększenie.

Na myśl tego teleskopu, składającego się z soczewki płasko-wypukłej i płasko-wklęsłej, naprowadziły go rozważania teoretyczne, do których pobudził go wynalazek lunety, składającej się z dwóch soczewek wypukłych, wynalazek przypadkowo dokonany przez holendra Jakóba Metzius'a. — Prawo spadku ciał, oraz inne prawa z dziedziny mechaniki, odkryte przez Galileusza w młodości, opisuje on w r. 1638 w ulubionej przez siebie formie dyalogów w dziele: „Discorsi e dimonstrazioni matematiche intorno a due nuove scienze”. Galileusza nazwać można twórcą fizyki doświadczalnej, założył on również podwaliny dynamiki nowoczesnej, uzupełnionej następnie i ujętej w system przez Newton'a. Galileusz wykrył następujące zasady dynamiczne: prawo bezwładności materii, prawa składania ruchów i prędkości, prawo spadku ciała ciężkiego w kierunku pionowym i po równi pochyłej, prawa wahadła.

Odkrycie teleskopu zwróciło wzrok i myśl Galileusza ku zjawiskom zachodzącym na niebie. Galileusz pierwszy zastosował teleskop do badania zjawisk niebieskich. Obserwowanie zjawisk tych przekonywa dowodnie Galileusza o prawdziwości teorii kopernikańskiej układu świata i dostarcza teorii tej nowych dowodów. (Odkrycie księżyców Jowisza). Odtąd Galileusz występuje jako gorący zwolennik i propagator idei kopernikańskiej. Sprawie tej poświęca odtąd niemal wyłącznie swą pracę i swój talent dyalektyczny.



Fig. 6.
Termometr
Galileusza.

W r. 1632 wydaje dzieło „Dialogo intorno ai due massimi sistemi del mondo“, w którym w formie dyalogów przeciwstawia system Kopernika systemowi Ptolomeusza.

Poglądy Galileusza miały zwolenników pomiędzy wyższym duchowieństwem w Rzymie; tak zwolennikami poglądów Galileusza byli na przykład kardynałowie Barberini i Bellarmini; lecz przez kongregację indeksu uznane zostały za sprzeczne z literą Pisma Świętego.

Sędziwy już wówczas Galileusz wtrącony został do więzienia i następnie zmuszony w r. 1633 do odwołania swojej nauki. Podanie głosi, iż miał on po akcie odwołania wykrzyknąć: „E pur si muove“ (A jednak się porusza), zdaje się jednak, że w rzeczywistości fakt ten nie miał miejsca. Więzienie zostało mu następnie zamienione na przymusowe zamieszkiwanie willi arcybiskupa Sienny Piccolomini'ego, gdzie podlegał dość ścisłemu dozorowi; nie wolno mu było, między innymi, zajmować się astronomią. Wreszcie pozwolono mu było zamieszkać w Arcetri.

Tu opracował on swe dyalogi dotyczące mechaniki. Tu również pracowali z nim przez czas pewien jego uczniowie Torricelli i Viviani, któremu zawdzięczamy biografię Galileusza. W ostatnich latach życia sędziwy uczony traci wzrok i umiera wreszcie w cztery lata później, zgębiony przeciwnościami życia.

Jakkolwiek dzieła astronomiczne Galileusza dały mu za jego życia więcej rozgłosu, to jednak dla nauki istotniejsze znaczenie mają prace jego w dziedzinie mechaniki.

Dyalogi i dowody matematyczne, dotyczące dwu nowych gałęzi
wiedzy*).

DZIEŃ PIERWSZY.

... Simplicio²⁾). Arystoteles zwalcza, o ile pamiętam, mniemanie niektórych dawniejszych filozofów, którzy wprowadzali próżnię jako niezbędną, aby ruch mógł dojść do skutku, gdyż bez niej ruch jest jakoby niemożliwy. W przeciwieństwie do tego dowodzi Arystoteles, iż właśnie zjawisko ruchu zaprzecza przypuszczeniu istnienia próżni; dowód jego jest następujący. Rozpatruje on dwa przypadki: przypuszcza, po pierwsze, że różne masy poruszają się w tym samym ośrodku; następnie zaś, że jedna i ta sama masa porusza się w ośrodkach różnych. W pierwszym przypadku twierdzi on, że ciała różne poruszają się w tym samym ośrodku z prędkością różną, proporcjonalną do ich ciężarów, tak że np. ciężar 10 razy większy będzie się poruszał 10 razy prędzej. W drugim przypadku przyjmuje on, że prędkości jednej i tej samej masy w ośrodkach różnych mają się do siebie odwrotnie jak gęstości, tak że np., gdyby gęstość wody była 10 razy większa, niż gęstość powietrza,

*) Wyjątki z dzieła: „Discorsi e dimonstrazioni matematiche intorno a due nuove scienze”. Leyda 1638.

Przekład niniejszy dokonany został z niemieckiego tłumaczenia A. v. Oettingen'a, wydany w tomikach 11, 24 i 25 wydawnictwa „Ostwald's Klassiker”.

prędkość w powietrzu byłaby 10 razy większa, niż w wodzie. Drugiego twierdzenia dowodzi on w sposób następujący. Ponieważ gęstość próżni różni się nieskończenie mało od gęstości materii napełniającej przestrzeń, w najwyższym stanie rozrzedzenia to ciało, które w ośrodku wypełniającym przestrzeń w pewnym czasie przechodzi pewną przestrzeń, w próżni posuwa się momentalnie; lecz ruch momentalny jest niemożliwością; niemożliwością więc jest wskutek tego tworzenie się próżni.

Salviati... Wątpię bardzo, czy Arystoteles sprawdził kiedy przez doświadczenie, czy dwa kamienie, z których jeden waży 10 razy więcej, niż drugi, będąc puszczone w tym samym momencie z wysokości 100 łokci, tak różnią się w swoim ruchu, że w chwili przybycia większego, mniejszy przebyłby zaledwie 10 łokci.

Simplicio. Z mowy Waszej widać, że rzecz tę sprawdzaliście eksperymentalnie, gdyż inaczej nie mówilibyście o doświadczeniach.

Sagredo. Ja zaś, panie Simplicio, nie wykonawszy żadnego doświadczenia, zapewniam Was, że kula armatnia stu, dwustu i więcej funtowa nie dosięgnie ziemi ani o cal przed kulą, ważącą pół funta, jeśli obie spadają z wysokości 200 łokci.

Salviati. Bez wielu doświadczeń możemy dowieść przy pomocy krótkiego prostego wnioskowania, iż jest niemożliwością, aby większy ciężar poruszał się prędzej niż mniejszy, jeśli oba są z tego samego materiału. Powiedźcie mi bowiem, panie Simplicio, czy uznajecie, iż każde ciało spadające posiada z natury właściwą mu prędkość, tak iż, aby ją zwiększyć lub zmniejszyć, trzeba zastosować siłę lub opór?

Simplicio. Niewątpliwie ciało w pewnym danym ośrodku posiada określoną prędkość, która może być zwiększona tylko przez nową podniecie lub zmniejszona — przez nową przeszkodę.

Salviati. Jeśli mamy dwa ciała, których prędkości są różne, to jasnym jest, iż gdy połączymy powolniejsze z szybszem, to ostatnie musiałyby być opóźnione przez

tamto, tamto zaś, powolniejsze musiałyby być przez szybsze przyspieszone. Czy zgadzacie się na to?

Simplicio. Wniosek ten wydaje mi się zupełnie prawidłowym.

Salviati. A jeśli to jest prawdą i jeśliby prawdą było, że duży kamień porusza się np. z prędkością 8-u łokci, mniejszy zaś 4-ch łokci, to oba połączone musiałyby mieć prędkość mniejszą niż 8 łokci. Lecz wszak oba kamienie razem większe są, niż tamten większy kamień, który posiadał prędkość 8-u łokci; a więc większy poruszałby się wolniej niż mniejszy, co przeczyłoby Waszemu założeniu. Widzicie więc, że na podstawie przypuszczenia, że większe ciało posiada większą prędkość niż mniejsze, mogą doprowadzić Was do wniosku, że większe ciało porusza się wolniej niż mniejsze.

[Doświadczenia z wahadłem].

Salviati. Doświadczenia z dwoma ciałami możliwie różnej wagi, którym pozwalamy swobodnie spadać, aby obserwować, czy osiągają one tę samą prędkość, — przedstawiają pewne trudności, gdyż przy wielkiej wysokości ośrodek, który musi być stale rozcinany i odsuwany na stronę, wywiera większy wpływ na ciało bardzo lekkie, niż na gwałtowny pęd bardzo ciężkiego ciała, i ciało bardzo lekkie pozostanie w tyle; przy nieznaczonej wysokości, możnaby powątpiewać, czy różnica istnieje, gdyż zaledwie da się ona spostrzedz. Z tego względu zastanawiałem się nad tem, czy nie możnaby było spadania z nieznaczonej wysokości powtórzyć kilkakrotnie, tak jednak, aby nastąpiło zsumowanie tych małych różnic czasu pomiędzy przybyciem ciała cięższego i lżejszego, przez to w zjawisku wystąpiłaby różnica łatwo nawet dostrzegalna. Aby również badać ruchy powolniejsze, przy których praca oporu, zmierzająca do zmniejszenia działania ciężkości — jest mniejsza, puszczałem ciała wzdłuż równi bardzo słabo pochylonej, gdyż na niej zarówno jak i przy spadaniu swobodnem może być obserwowane to, co się odnosi do ciał różnego ciężaru, prócz tego

umyśliłem uwolnić się od oporu, który może wynikać z zetknięcia się z płaszczyzną pochyłą; wziąłem ostatecznie dwie kule: jedną z ołowiu, drugą z korka, pierwszą około 100 razy cięższą niż drugą, umocowałem i zawiesiłem na dwóch równych cienkich nitkach długości 4 do 5 łokci; gdy wyprowadziłem obie kule z pozycji pionowej i wypuściłem je jednocześnie, opisywały one części kół o równych promieniach; kule wychylały się poza pion, powracały po tej samej drodze i po przejściu ze sto razy tam i z powrotem pokazało się wyraźnie, iż ciało cięższe tak dokładnie zgadzało się z ciałem lżejszym, że zarówno przy 100, jak i przy 1000 drgań, nie dała się zauważyć najmniejsza różnica; poruszały się one zupełnie jednakowym krokiem. Daje się coprawda zauważyć wpływ ośrodka, który przeciwstawia ruchowi opór i zmniejsza o wiele znacznie wahnięcia kuli korkowej, niż kuli ołowianej, lecz wahnięcia te nie stają się wskutek tego bardziej lub mniej częste; nawet wtedy, gdy łuki zakreślane przez kulę korkową wynoszą tylko 5 lub 6 stopni, zaś łuki zakreślane przez kulę ołowianą 50 lub 60 stopni, są one zakreślane stale w jednym i tym samym czasie...¹⁾.

Przy wahadłach różnej długości stosunek czasów (okresów drgania) równy jest stosunkowi pierwiastków kwadratowych z długości, czyli innymi słowy długości wahadeł mają się do siebie, jak kwadraty czasów wahanja: jeśli więc wahadło ma poruszać się dwa razy wolniej, niż inne, powinno ono mieć cztery razy większą długość. Inne wahadło będzie miało w porównaniu z krótszym trzy razy dłuższy okres wahanja, jeśli długość jego jest dziewięćkroć większa. Z tego wynika również, iż długości wahadeł mają się do siebie odwrotnie, jak kwadraty ilości wahanja.

S a g r a d o. Jeśli dobrze zrozumiałem, to mógłbym natychmiast obliczyć długość wahadła ogromnych rozmiarów, nawet gdyby punkt zawieszenia był niewidoczny i można było obserwować tylko dolny koniec. Potrzebowałbym tylko zawiesić ciężar i wprawić go w ruch wahadłowy, i podczas gdy pomocnik liczyłby jego wahanja, ja obserwowałbym w ciągu tego samego czasu, ilość wahanja innego wahadła

o długości równej dokładnie jednemu łokciowi. Z ilości drgań obu wahadeł, przypadających na ten sam okres czasu, obliczam długość mego wahadła; niech np. ilość wahnięć, naliczona przez mego pomocnika, będzie równa 20 w tym czasie, kiedy ja otrzymałem 240; jeśli utworzymy kwadraty 400 i 57600, to otrzymamy, iż długie wahadło zawiera 57600 takich części, których 400 idzie na jeden łokieć; jeśli podzielimy 57600 przez 400, to dostaniemy 144, czyli, że wahadło powinno mieć długości 144 łokcie.

Salviati. Nie będziecie mieli ani cala błędu, zwłaszcza jeśli weźmiecie dużą ilość wahnięć.

Sagredo. Jakżeż często dajecie mi sposobność do podziwiania bogactwa, a zarazem szczodroblowości natury, wypowiadając w stosunku do rzeczy prostych, niemal trywialnych uwagi tak uderzające, całkowicie nowe i tak dalekie od naszych wyobrażeń. Chyba tysiące razy obserwo wałem wahania, np. wahania lamp wiszących w kościołach na długich sznurach, lecz znalazłem tylko, że pogład, według którego podobne ruchy są podtrzymywane przez ośrodek otaczający, jak w tym przypadku — powietrze, jest nieprawdopodobny; wydaje mi się, że powietrze musiałoby mieć sąd określony i zarazem mało innych czynności do spełniania, aby wypełniać godziny huśtaniem wahadła tam i z powrotem z wielką dokładnością. Nigdybym jednak nie odkrył, że to samo ciało, zawieszona na nitce długości 100 łokci, zawsze używa tego samego czasu, niezależnie od tego, czy jest ono odchylone o 90° czy też o 1° — i ciągle wydaje mi się to rzeczą niemożliwą...

Salviati. Każde wahadło posiada tak stały i określony okres wahań, iż w żaden sposób nie podobna go zmusić do wahań o innym okresie, niż ten, który mu jest z natury właściwy. Weźmy do ręki dowolne wahadło i spróbujmy zwiększyć lub zmniejszyć ilość jego wahnięć; będzie to daremny trud; lecz nawet najcięższemu wahadłu, znajdującemu się w spoczynku, możemy przez samo dmuchanie nadać ruch i nawet dość znaczny, jeśli będziemy dmuchać w okresach wahadła właściwych; jeśli nawet przy pierwszym

dmuchnięciu wyprowadziliśmy wahadło z pozycji równowagi o jeden cal zaledwie, to dmuchnąwszy znowu za jego powrotem, ruch wzmożemy i tak dalej—, jednak tylko dmuchając w określonym czasie i nie wtedy, gdy wahadło ku nam się zbliża (gdyż w tym wypadku zahamowalibyśmy ruch zamiast go wzmódz); wreszcie zostaną wywołane tak silne wahania, iż potrzebaby o wiele większej siły, niż siła jednorazowego dmuchnięcia, aby znowu przywrócić stan spoczynku.

S a g r e d o. Dzieckiem jeszcze będąc widywałem, jak jeden człowiek przez uderzenia, nadawane we właściwym czasie, doprowadzał do dźwięczenia olbrzymi dzwon kościelny, aby go zaś zatrzymać, uwieszało się na nim 4 do 5 innych ludzi, którzy jednak wszyscy razem byli kilkakrotnie podnoszeni do góry i nie mogli natychmiast zatrzymać dzwona, który był wprawiony w ruch przez jednego człowieka, uderzającego w prawidłowych odstępach.

Salviati. Jest to przykład, który może mi posłużyć znakomicie do wyjaśnienia zadziwiającego zjawiska, dotyczącego oddźwięku strun cytry lub cymbałów, współdźwięczą bowiem nietylko te, które są nastrojone jednakowo, lecz również te, które znajdują się względem nich w stosunku oktawy lub kwinty. Struna uderzona zaczyna dźwięczeć i dźwięczy, dopóki drgania jej trwają: drgania te wprawiają powietrze we współdrżania, które rozchodzą się daleko i pobudzają wszystkie struny tego instrumentu jak również innych sąsiednich: każda struna nastrojona jednakowo ze struną uderzoną, będąc skłoną do drgania w tem samym tempie, przy pierwszym impulsie zaczyna się trochę poruszać; do niego dodaje się drugi, trzeci, dwudziesty i więcej, i wszystkie one działają w odpowiednim czasie tak, że ostatecznie drgania struny stają się równie znaczne, jak drgania pierwszej struny; amplitudy ich rosną, dopóki nie osiągną amplitudy drgań pobudzających. Fale powietrzne wstrząsają nie tylko struny, lecz również inne ciała zdolne do współdrżania... Jeśli potrzymamy smyczkiem grubą strunę skrzypiec, trzymając w pobliżu instrumentu kieliszek z cienkiego czystego

szkła, zostanie on wprowadzony w drgania, jeśli ma miejsce zgodność okresów drgań, i będzie głośno współdzwierać. Jak drgania otaczającego powietrze oddawane są ciału współdzwierającemu, można widzieć w następujący sposób: kieliszek, w którym znajduje się woda, doprowadzamy do dzwierzczenia, pocierając brzeg jego końcem palca; rozpoznajemy natychmiast fale wodne prawidłowych kształtów; doświadczenie udaje się jeszcze lepiej, jeśli podstawę kieliszka umieścimy na dnie dużego naczynia, napełnionego wodą niemal po brzegi kieliszka; spotrzegamy natychmiast że woda zostaje wprowadzona w drgania nader prawidłowe, które oddalają się od kieliszka z wielką szybkością. Przy dostatecznie dużym kieliszku pełnym wody, widywałem często fale kształtów nader prawidłowych; później jednak ton przeskakiwał o oktawę wyżej i fala wodna rozpadała się na dwie fale: zjawisko to wykazuje wyraźnie, iż kształt oktawy jest podwójny.

Sagredo... Trojakim sposobem możemy podnieść wysokość tonu struny: przez skrócenie jej, przez napięcie i przez podparcie. Przy niezmiennym napięciu i innych właściwościach wywołujemy oktawę przez skrócenie o połowę, to znaczy, że uderzamy początkowo całą strunę, następnie połowę jej. Przy niezminionej długości i innych własnościach otrzymujemy oktawę przez napięcie, nie wystarczy po temu jednak siła podwójna, lecz poczwórna; jeśli była ona początkowo napięta siłą jednego funta, to potrzebujemy czterech funtów, aby otrzymać oktawę. Wreszcie przy niezminionej długości i napięciu, grubość należy zmniejszyć poczwórnie, aby otrzymać oktawę...

Salviati. Jest to piękne doświadczenie, które pozwala rozróżnić poszczególne drgania ciała; są to te same drgania, które rozchodzą się w powietrzu i wstrząsają naszą błonę bębenkową i które w duszy naszej stają się tonem.

DZIEŃ TRZECI.

O ruchu miejscowym (lokalnym) ³⁾.

O przedmiocie bardzo starym rozpoczynamy naukę całkowicie nową. Niema w przyrodzie nic starszego nad ruch i pisma filozofów o nim są liczne i obszerne. Jednak poznałem wiele właściwości jego, w których liczbie znajdują się niektóre nadzwyczaj godne poznania.

O kilku łatwiejszych z pomiędzy twierdzeń tych często się słyszy; tak np., że ruch naturalny spadających ciał ciężkich jest przyśpieszony. Dotąd jednak nie zostało jeszcze wypowiedzianem, jakim jest stopień tego przyśpieszenia, gdyż, o ile wiem, nikt nie dowiódł, iż drogi przebywane przez ciało spadające, w czasach równych, mają się do siebie jak liczby nieparzyste ⁴⁾.

Spostrzeżono, że pociski zakreślają pewną krzywą, nikt jednak nie głosił, iż ta krzywa jest parabolą.

Chcę tu udowodnić prawdziwości tego, jakoteż wielu innych rzeczy, niemniej godnych poznania; utoruję też drogę do tego, co pozostaje jeszcze do zrobienia. W ten sposób będzie stworzona nader rozległa i niezmiernie ważna nauka, której początek ma stanowić praca niniejsza; w głębsze jej tajniki niech przenikną duchy, wyższe odemnie.

Rozprawa nasza dzieli się na trzy części. W pierwszej części rozpatrujemy ruch jednostajny. W drugiej opisujemy ruch jednostajnie przyśpieszony. W trzeciej zajmujemy się ruchem narzuconym ³⁾, czyli ruchem pocisków.

O ruchu jednostajnym.

Ruch jednostajny musimy przedewszystkiem opisać.

Określenie.

Jednostajnym nazywamy ruch taki, przy którym drogi, przebywane przez ciało w jakichkolwiek czasach równych są sobie równe.

Wyjaśnienie.

Do dawnej definicji (która mówiła poprostu o równych drogach w czasach równych) dodaliśmy wyraz „w jakichkolwiek“, to jest w dowolnych czasach równych: gdyż jest możliwem, by ciało przechodziło w pewnych okresach czasu drogi równe, natomiast w mniejszych częściach tych okresów — drogi nierówne...

W dalszym ciągu Galileusz dowodzi sześciu twierdzeń dotyczących ruchu jednostajnego, które analitycznie dają się streścić w równaniach następujących:

- 1) $s_1 = vt_1$ $\frac{s_1}{s_2} = \frac{t_1}{t_2}$
 $s_2 = vt_2$
- 2) $s_1 = v_1 t$ $\frac{s_1}{s_2} = \frac{v_1}{v_2}$
 $s_2 = v_2 t$
- 3) $s = v_1 t_1$ $v_1 t_1 = v_2 t_2$ $\frac{v_1}{v_2} = \frac{t_1}{t_2}$
 $s = v_2 t_2$
- 4) $s_1 = v_1 t_1$ $\frac{s_1}{s_2} = \frac{v_1 t_1}{v_2 t_2}$
 $s_2 = v_2 t_2$
- 5) $s_1 = v_1 t_1$ $\frac{t_1}{t_2} = \frac{s_1}{s_2} \cdot \frac{v_2}{v_1}$
 $s_2 = v_2 t_2$
- 6) $s_1 = v_1 t_1$ $\frac{v_1}{v_2} = \frac{s_1}{s_2} \cdot \frac{t_2}{t_1}$
 $s_2 = v_2 t_2$

O ruchu naturalnie przyspieszonym.

Dotąd rozpatrywaliśmy ruch jednostajny; teraz przechodzimy do ruchu przyspieszonego. Najpierw musimy znaleźć i wyjaśnić definicję, dokładnie odpowiadającą zjawisku naturalnemu. Byłoby rzeczą zupełnie dozwoloną dowolnie wymyślić jakikolwiek rodzaj ruchu i rozpatrywać wypływające ztąd zjawiska. (Tak np. ktoś, kto by pomyślał sobie, że linie śrubowe lub konchoidy powstają z pewnych ruchów, chociażby te nawet nie były spotykane w naturze, mógłby pomimo to z założeń swych wywnioskować o ich głównych własnościach).

Zdecydowaliśmy się jednak rozpatrywać te zjawiska, które zachodzą w przyrodzie przy swobodnem spadaniu ciał i określenie ruchu przyśpieszonego dostosowujemy do istoty ruchu naturalnie przyśpieszonego. Po długich rozważaniach wydało się nam ostatecznie, iż tak będzie najlepiej, głównie z tej racyi, iż to, co doświadczenie ukazuje zmysłom, odpowiada właśnie rozpatrywanym zjawiskom. Wreszcie do rozpatrywania ruchu jednostajnie przyśpieszonego doprowadziła nas uważna obserwacya zjawisk codziennych i porządku natury w jej wszystkich urządzeniach. Natura bowiem, we wszelkich swych działaniach przy wykonywaniu ich, używa najpierwszych, najprostszych i najłatwiejszych środków⁵); gdyż, jak sądzę, nikt chyba nie myśli, iż latanie lub pływanie prościej lub łatwiej mogłoby być dokonywane, niż przy pomocy tych środków, których używają ptaki lub ryby przez instynkt naturalny. Jeśli więc spostrzegam, że kamień, wytrącony z równowagi, spada ze znacznej wysokości i nabiera co raz nowych przyrostów prędkości, to czemuż nie miałbym mniemać, iż przyrosty takie są najprostsze i dochodzą do skutku w sposób najłatwiej dla każdego z nas zrozumiały. Po dokładniejszem zastanowieniu się żaden przyrost nie wyda się nam równie prostym, jak ten, który dodaje się zawsze w ten sam sposób... Ruch równomiernie czyli jednostajnie przyśpieszony jest to ruch taki, przy którym w czasach równych przybywają równe momenty prędkości...

[Równia pochyła].

Galileusz czyni założenie następujące:

Prędkości, które osiąga to samo ciało przy różnych pochyleniach równi, są sobie równe, jeśli wysokości tych równi są równe.

Wysokością równi pochyłej nazywam pion, który może być spuszczonej z najwyższego punktu równi na płaszczyznę poziomą, która przechodzi przez najniższe punkty równi. Jeśli więc BA jest równoległa do horyzontu (fig. 7) ponad którym pochylone są równie CA i CD , to pion CB , prost-

padły do poziomej BA nazywa się wysokością obu równi CA i CD . Przyjmuję, że ciało, poruszające się wzdłuż CA lub CD , przybywając do A lub D ma prędkości równe, gdyż mają one tę samą wysokość CB . I prędkość jest ta sama, jaką ciało osiągałoby przy swobodnym spadku z C do B .

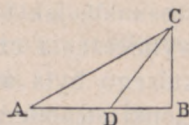


Fig. 7.

Dla sprawdzenia założenia powyższego Galileusz wykonywał doświadczenie z równią pochyłą; poniżej podajemy opis tego doświadczenia:

Na linii, lub powiedzmy na drewnianej desce na 12 łokci długiej, pół łokcia szerokiej i trzy cale grubej, została na jej wąskiej stronie wydrążona rynna, nieco więcej niż na jeden cal szeroka. Została ona przeprowadzona bardzo prosto, i celem otrzymania powierzchni bardzo gładkiej, wyklejona została wewnątrz nader gładkim i czystym pergaminem; po tej rynnie puszczana była bardzo twarda, dokładnie okrągła i gładko wypolerowana kula mosiężna. Po ustawieniu deski, jeden koniec jej był podniesiony na wysokość jednego, to znów na wysokość dwóch łokci; wtedy puszczano po tej rynnie kulę i przy pomocy poniżej podanego sposobu określano czas spadania na przestrzeni całej tej drogi. Poszczególne doświadczenia powtarzaliśmy często, celem dokładniejszego określenia czasu, i nie znajdujemy żadnych różnic, nawet takich, któreby wynosiły chociaż dziesiątą część uderzenia pulsu. Następnie puszczaliśmy kulę już tylko na czwartej części tej drogi i znajdujemy dokładnie połowę tego czasu spadania, co przedtem. Później braliśmy inne drogi i porównywaliśmy zmierzony przedtem czas spadania z ostatnio otrzymanym i z czasem odpowiadającym $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, lub jakimś innym ułamkiem [czasu, przyjętego za jednostkę]. Przy stokrotnem chyba powtarzaniu znajdujemy stale, iż drogi miały się do siebie, jak kwadraty czasów, i to dla każdego nachylenia równi, t. j. kanału, w którym biegła kula. Znaleźliśmy prócz tego, iż czasy spadania, zaobserwowane przy różnych pochyleniach równi, są do siebie dokładnie w tym

stosunku, jak to jest podane i dowiedzione poniżej^{*)}). Celem wymierzenia czasu postawiliśmy wiadro pełne wody, w dno którego była wstawiona cienka rurka; przez nią wypływał cienki strumień wody, która przy każdej obserwacji czasu spadania, była zbieraną do małego kubka: woda zebrana w ten sposób była ważona na bardzo dokładnej wadze; z różnicy ważeń otrzymywaliśmy stosunki ciężarów i czasów.

DZIEŃ CZWARTY.

O ruchu pocisków (projectio).

Dotąd rozpatrywaliśmy ruch jednostajny i ruch naturalnie przyspieszony wzdłuż płaszczyzn pochyłych. Poniżej pozwolę sobie wyłożyć pewne zjawiska oraz pewne godne poznania twierdzenia, wraz ze ściśłymi dowodami, dotyczącymi ciał posuwających się ruchem złożonym, mianowicie złożonym z ruchu jednostajnego i naturalnie przyspieszonego; takim bowiem jest ruch pocisków i można sobie wyobrazić, że tak powstaje. Jeśli ciało, nie doznając żadnego oporu, porusza się poziomo, to ze wszystkich poprzednich szczegółowych wywodów wynika, iż ruch ten jest jednostajny i trwa bez końca na płaszczyźnie nieskończonej; jeśli zaś ona jest ograniczona i ciało jest ciężkie, to będzie ono po przybyciu do jej kresu poruszać się dalej i do jego ruchu jednostajnego niezniszczalnego dołączy się ruch wywołany przez ciężkość tak, iż powstanie ruch złożony, który nazywam ruchem pocisków. Składa się on z ruchu jednostajnego poziomego i z ruchu jednostajnie przyspieszonego. Na ten temat podamy kilka rozwiązań.

^{*)} „Czasy spadania po równiach jednakowej długości, pochyłonych niejednakowo, mają się do siebie odwrotnie, jak pierwiastki kwadratowe z wysokości ⁶⁾).

Twierdzenie I. Teza I. Ciało poddane ruchowi jednostajnemu poziomemu i równocześnie ruchowi jednostajnie przyspieszonemu zakreśla połowę paraboli.

Tu następuje ustęp, w którym autor w formie dialogu przypomina czytelnikowi własności paraboli.

Wyobraźmy sobie prostą lub płaszczyznę poziomą AB , wzdłuż której ciało porusza się jednostajnie. Przy końcu jej brakuje podpory i ciało wskutek swego ciężaru ulega ruchowi wzdłuż prostopadłej BN . Wyobraźmy sobie AB przedłużone w kierunku do E i podzielmy to przedłużenie na odcinki równe BC, CD, DE . Z punktu B, C, D, E poprowadzimy proste równoległe

do BN w odległościach równych. Na pierwszej z nich odłóżmy od C dowolny odcinek CJ , na następnej cztery razy większy DF , dalej dziewięć razy dłuższy EH , i tak coraz dalej odcinki odpowiadające kwadratam. Kiedy ciało z B dochodzi jednostajnie do C , to wyobraźmy sobie dodany kawałek CJ , spowodowany przez spadanie; ciało po czasie BC znajdzie się w punkcie J . Dalej w czasie DB równym $2BC$ droga spadku wyniosłaby $4CJ$, gdyż w poprzedniej rozprawie zostało dowiedzionem, iż drogi, przebieżone ruchem jednostajnie przyspieszonym, mają się do siebie, jak kwadraty czasów. Podobnie droga EH , przebieżona w czasie BE , równą będzie $9CJ$, gdyż odcinki EH, DF, CJ mają się do siebie jak kwadraty odcinków EB, DB, CB . Jeśli z punktów J, F, H poprowadzimy prosto JO, FG, HL równoległe do EB , to HL, FG, JO równe będą odcinkom EB, DB, CB , jak również BO, BG, BL — równe odcinkom CJ, DF, EH . Kwadraty HL i FG mają się do siebie jak odcinki LB, BG i kwadraty FG, JO jak GB, BO . A więc punkty J, F, H leżą na połowie paraboli. Podobnie, przy-

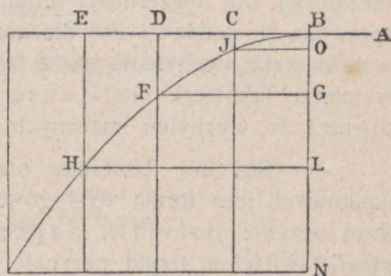


Fig. 8.

Krzywa przy rzucie poziomym.

zammy sobie dodany kawałek CJ , spowodowany przez spadanie; ciało po czasie BC znajdzie się w punkcie J . Dalej w czasie DB równym $2BC$ droga spadku wyniosłaby $4CJ$, gdyż w poprzedniej rozprawie zostało dowiedzionem, iż drogi, przebieżone ruchem jednostajnie przyspieszonym, mają się do siebie, jak kwadraty czasów. Podobnie droga EH , przebieżona w czasie BE , równą będzie $9CJ$, gdyż odcinki EH, DF, CJ mają się do siebie jak kwadraty odcinków EB, DB, CB . Jeśli z punktów J, F, H poprowadzimy prosto JO, FG, HL równoległe do EB , to HL, FG, JO równe będą odcinkom EB, DB, CB , jak również BO, BG, BL — równe odcinkom CJ, DF, EH . Kwadraty HL i FG mają się do siebie jak odcinki LB, BG i kwadraty FG, JO jak GB, BO . A więc punkty J, F, H leżą na połowie paraboli. Podobnie, przy-

mując dowolne inne drogi i odpowiadające im czasy, moglibyśmy udowodnić, iż punkty określone w podobny sposób będą leżały stale na tej samej paraboli, przez co twierdzenie jest udowodnione.

U W A G I.

¹⁾ (Str. 24) Prawo izochronizmu drgań wahadła brzmi jak następuje: częstość drgań danego wahadła jest wielkością stałą, niezależną od obszerności drgań, czyli od amplitudy. Prawo to sprawdza się jednak tylko dla nieznacznych wychyleń (dla których wstawa kąta wychylenia może być zastąpiona przez kąt, wyrażony w mierze łukowej). Galileusz popełnia błąd, stosując prawo to również do wychyleń znacznych (p. str. 31).

²⁾ (Str. 27) Ulubioną przez Galileusza formą rozpraw naukowych jest forma dyalogów. W dyalogach tych biorą udział trzej uczeni: Salviati, Sagredo i Simplicio. Simplicio jest przedstawicielem fizyki perypatetycznej. W usta Salviati'go Galileusz wkłada swoje własne teorie fizyczne i poglądy, Sagredo zaś, również zwolennik „nowej fizyki“, stawia zapytania, pobudzające Salviati'ego do wyjaśnień.

³⁾ (Str. 34) W fizyce perypatetycznej pojęcie ruchu było szersze, niż w fizyce dzisiejszej; oznaczało ono wszelkiego rodzaju zmiany. Przez „ruch miejscowy czyli lokalny“ oznaczano zmianę miejsca, czyli ruch w ściślejszem tego słowa znaczeniu. Galileusz w wykładzie swoim zapożycza jeszcze pewne określenia od fizyki perypatetycznej; ruchy dzieli np. na naturalne i narzucone.

⁴⁾ (Str. 34) Z wzoru na ruch jednostajnie przyspieszony
 $s = \frac{1}{2} \gamma t^2$
 wynika: $s_1 = \frac{1}{2} \gamma$ (s_1 — droga przebyta w ciągu pierwszej sekundy)
 $s_2 = 2 \gamma t$ (s_2 — droga przebyta w ciągu 2-ch pierwszych sekund)
 a więc: $s_2' = s_2 - s_1 = (2 - \frac{1}{2}) \gamma = \frac{3}{2} \gamma$ (s_2' — droga przebyta w ciągu drugiej sekundy)
 $s_3 = \frac{9}{2} \gamma$ (s_3 — droga przebyta w ciągu trzech pierwszych sekund)
 $s_3' = s_3 - s_2 = (\frac{9}{2} - 4) \gamma = \frac{5}{2} \gamma$ (s_3' — droga przebyta w ciągu trzeciej sekundy)

$$s_4 = \frac{16}{2} \gamma$$

$$s_4' = s_4 - s_3 = \left(\frac{16}{2} - \frac{9}{2}\right) \gamma = \frac{7}{2} \gamma$$

Mamy ztąd:

$$s_1' : s_2' : s_3' : s_4' \dots = \frac{1}{2} : \frac{3}{2} : \frac{5}{2} : \frac{7}{2} \dots = 1 : 3 : 5 : 7 \dots$$

⁵⁾ (Str. 36) Podobną myśl znajdujemy u Kopernika (p. str. 22) i u Newtona (I. prawo badania przyrody p. str. 54).

⁶⁾ (Str. 40)

Oznaczmy $A_1B_1 = A_2B_2 = S$ (fig. 9)

$$B_1C_1 = h_1 \quad B_2C_2 = h_2$$

Przyspieszenie na równi I $\gamma_1 = b_1c_1$

" " " II $\gamma_2 = b_2c_2$

Czas spadania na równi I t_1

" " " " II t_2

Przyspieszenie przy swobodnem spadaniu ciał $g = a_1b_1 = a_2b_2$

Z wzorów na drogę w ruchu jednostajnie przyspieszonym wynika

$$s = \frac{1}{2} \gamma_1 t_1^2$$

$$s = \frac{1}{2} \gamma_2 t_2^2$$

stąd

$$\gamma_1 t_1^2 = \gamma_2 t_2^2$$

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{t_2^2}{t_1^2}$$

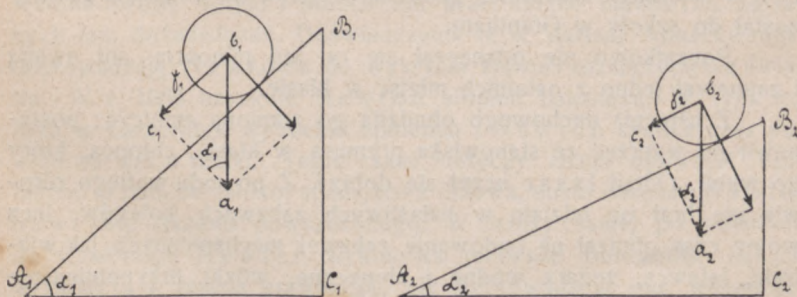


Fig. 9.

Z podobieństwa trójkątów
wynika

$$\triangle A_1B_1C_1 \sim \triangle a_1b_1c_1$$

$$\frac{s}{h_1} = \frac{g}{\gamma_1} \quad \frac{\gamma_1}{h_1} = \frac{g}{s}$$

Z podobieństw trójkątów
wynika

$$\triangle A_2B_2C_2 \sim \triangle a_2b_2c_2$$

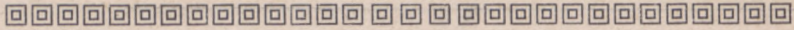
$$\frac{s}{h_2} = \frac{g}{\gamma_2} \quad \frac{\gamma_2}{h_2} = \frac{g}{s}$$

a więc

$$\frac{\gamma_1}{h_1} = \frac{\gamma_2}{h_2} \quad \frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{h_1}{h_2}$$

a stąd

$$\frac{t_2^2}{t_1^2} = \frac{h_1}{h_2}$$



ISAAC NEWTON.

(1642—1727).

Isaac Newton urodził się (w roku śmierci Galileusza) w wiosce Woolsthorpe w hrabstwie Lincoln w pobliżu miasteczka Grantham. Ojciec jego zajmował się rolnictwem i był właścicielem małej fermy. Umarł on w parę miesięcy przed przyjściem na świat syna, który był dzieckiem przedwcześnie urodzonym, drobnym i słabowitem.

Matka jego w parę lat później wyszła za pastora Smitha, powierzając Isaaca opiece babki. Pierwszą naukę pobierał Newton w wiejskich szkołkach, poczem w wieku lat dwunastu posłany został do szkoły w Grantham.

Początkowo nie odznaczał się on ani pilnością, ani uwagą i zajmował jedno z ostatnich miejsc w klasie.

Z uspienia duchowego obudziła go zraniona ambicja: postanowił on wyprzeć ze stanowiska prymusa w klasie, chłopca, który go wybił. Odtąd Isaac uczył się dobrze. Z powodu wątłego zdrowia nie brał on udziału w hałaśliwych zabawach kolegów, lecz wolny czas obracał na budowanie zabawek mechanicznych, jak wiatraki, latawce, zegary wodne i słoneczne, wózki, przypominające konstrukcją rowery. Kiedy Newton miał lat piętnaście, matka jego owdowiała po raz drugi i, powróciwszy do swojej wioski, wezwała do siebie najstarszego syna, który miał jej odtąd pomagać w gospodarstwie; jednak do funkcji praktycznych, związanych z uprawą i sprzedażą zboża i jarzyn, okazał się Newton zupełnie nieprzydatnym: wysyłany na rynek ze starym służącym, jemu powierzał załatwianie interesów, sam zaś spędzał czas nad rozwiązywaniem zadań matematycznych, siedząc gdzieś pod płótem, lub na wertowaniu książek w domu p. Stokes'a, u którego mieszkał, będąc jeszcze w szkole. — Zamiłowanie jego do matematyki i mechaniki zaznaczało się coraz wybitniej, absorbując umysł jego całkowicie.

Wiemy, że w czasie wielkiej burzy w r. 1658 mierzył on siłę wiatru długością skoku z wiatrem i przeciw wiatrowi. Wiemy również, że na ścianie swego domostwa kreślił zegary słoneczne, z których jeden służył do użytku przez czas dłuższy i znajduje się obecnie w Londyńskim Towarzystwie Królewskim, dokąd w r. 1844 został przeniesiony kamień, ostrożnie wyjęty ze ściany domu Newton'a. Wreszcie wuj jego, pastor Ayscough, widząc wyraźne skłonności chłopca w kierunku matematyki, namówił matkę do oddania go do Trinity-College w Cambridge. Przygotowany niedostatecznie, potrafił jednak Newton w krótkim czasie wiadomości swe uzupełnić, studiując logikę oraz pisma matematyczne Kartezjusza, dzieła Keplera i swoich profesorów Barrow'a i Wallis'a („Arithmetica infinitorum“). Zetknął się również z geometryą Euklidesa, która jednak w tej epoce jeszcze nie trafiła mu do przekonania. — Dzieła przeczytane wywarły wybitny wpływ na kierunek jego myśli. Dzieło Wallis'a nasunęło mu prawdopodobnie pomysły, dotyczące jego teorii fluxyi (fluentes)¹⁾, którą odnieść należy do tego czasu i która posłużyła mu następnie do jego wyliczeń; do tego czasu odnosi się również wykrycie własności dwumianu, noszącego jego nazwisko. — Z drugiej strony Barrow dał mu do przejrzenia rękopis swojej optyki i polecił mu przerobienie niektórych opisanych tam doświadczeń. Doświadczenia te w dalszej konsekwencji doprowadzają Newtona do wykrycia zjawisk rozszczepienia światła. W r. 1665 uzyskuje Newton stopień bakałarza. W tym też roku w Cambridge wybuchła epidemia i Newton spędza czas pewien na wsi u matki. Tego czasu dotyczy znana opowieść Voltaire'a, o tem, że jabłko, spadające z drzewa, miało nasunąć Newtonowi ideę ciężenia powszechnego. W rzeczy samej po powrocie do Cambridge Newton wykonywa pierwsze obliczenia, będące w związku z zasadą grawitacyi; nie doprowadzają one jednak jeszcze do pożądanego rezultatu, gdyż dane, dotyczące długości południka ziemskiego, któremi posługiwał się Newton, były niedokładne. W dwudziestym czwartym roku życia Newton był już w posiadaniu zasadniczych idei, które stanowiły treść jego wielkich odkryć w dziedzinie optyki i mechaniki. Dalsza jego działalność naukowa polega na rozwinięciu ich i ugruntowaniu.

W r. 1667 Newton uzyskał stopień magistra; w tym czasie zwrócił się on w kierunku optyki i poświęcił się jej równie wyłącznie, jak wszystkiemu, co robił. Z książeczki rachunkowej Newton'a z roku 1667 widać, że kupował on wtedy soczewki, przy-

maty, oraz proszek do polerowania szkła. Pomimo najdokładniejszych przyrządów, obrazy w świetle białym nie były absolutnie ostre. Fakt ten nasunął Newton'owi myśl twórczą, że przyczyna tego zjawiska nie zależy od przyrządów optycznych, lecz od samej natury światła białego, że światło białe nie może być przez soczewkę skupione w jednym punkcie. Myśl ta doprowadza Newton'a do wykrycia rozszczepienia światła*). W r. 1669 Newton otrzymał katedrę fizyki po Barrow'ie, (który poświęcił się studiom teologicznym) i w ciągu lat następnych wyłożył swoją teorię rozszczepienia się światła. W r. 1671 przesłał Towarzystwu Królewskiemu (Royal Society) ulepszony teleskop własnej konstrukcji, w roku zaś 1672 mianowany został członkiem tegoż Towarzystwa i w tymże roku przysłał Towarzystwu rozprawę o rozszczepieniu światła, która została rozpatrzona i przyjęta przez komisję; w skład tej komisji wchodził między innymi Boyle i Hooke. Wyniki prac Newton'a z dziedziny optyki zebrane są w dwóch dziełach „Optics“ oraz „Lectiones opticae“*). Teoria emisyjna światła, którą Newton, jakkolwiek z zastrzeżeniami, rozwija w swoich dziełach, doprowadza go do ostrego starcia z Hooke'iem, zwolennikiem teorii falowej. Starcie to tak dotknęło Newtona, który nadewszystko cenil spokój, iż postanowił on za życia Hooke'a nic nie ogłaszać z dziedziny optyki.

W r. 1682 Picard dokonał dokładniejszego pomiaru promienia ziemskiego. Wówczas — po piętnastu latach — wraca Newton do swych dawnych wyliczeń, które miały wykazać, że siła ciężkości jest tylko szczególnym przejawem wszechogarniającej siły ciężenia powszechnego.

Bieg jego rozumowania był następujący: **Twierdzenie:** Ciało porusza się po elipsie lub kole pod wpływem stałej siły dośrodkowej, jeśli przyśpieszenie przez nią wywołane i skierowane ku środkowi ruchu dodaje się do ruchu jednostajnego i prostoliniowego, wynikającego z bezwładności ciała. **Zjawisko naturalne:** Księżyc opisyje koło, w środku którego znajduje się ziemia. **Wniosek:** Księżyc porusza się pod wpływem siły dośrodkowej, wywieranej przez ziemię. **Hypoteza:** Ta siła dośrodkowa identyczna jest z ciężkością, pod wpływem której ciała spadają na ziemi; natężenie ciężkości maleje w odwrotnym stosunku do kwadratu odległości. **Sprawdzenie hipotezy:** Jeśli hipoteza ta się sprawdza, to

*) p. Dział optyki.

przyśpieszenie księżyca, wyliczone na podstawie obserwacji, dotyczących kształtu toru oraz czasu obiegu księżyca, powinno równać się przyśpieszeniu ciał spadających na ziemi, podzielonemu przez 60^2 . (Odległość księżyca od ziemi równa się 60 promieniom ziemskim). Zjawiska analogiczne: Planety i ziemia poruszają się dokoła słońca podobnie, jak księżyc dokoła ziemi. Reguła filozofhandi: Jednorodnym działaniom należy przypisywać te same przyczyny. Uogólnienie hipotezy: Pod wpływem tej samej siły ziemia i planety obracają się dokoła słońca. Siła ta rządzi ruchem wszystkich ciał niebieskich. Działa ona pomiędzy każdą dwiema cząstkami materyalnemi, które przyciągają się odwrotnie proporcjonalnie do kwadratów odległości i wprost proporcjonalnie do mas. Siłę tę nazwać można przeto siłą ciężenia powszechnego.

Gdy wyliczenia, mające sprawdzić zasadę Newton'a, dobiegały do końca, uczuł się on tak wzruszonym, że dokończenie ich pozostawił przyjaciółom. Hipoteza Newton'a w wyliczeniach tych znalazła potwierdzenie.

Materyałem dowodowym dla idei Newton'a były więc zjawiska, odbywające się na niebie, wymierzone dokładnie przez astronoma Tycho de Brahe, oświetlone przez myśl Kopernika, ujęte w system w prawach Keplera²). Materyał ten dała mu historia, dała epoka, w której żył. A genjusz jego, ten czynnik twórczy a nieobliczalny, zdołał z materyału tego wznieść wielki system układu świata. Laplace powiedział o Newtonie, że był on nie tylko największym, lecz i najszcześniejszym z pomiędzy myślicieli, gdyż teorię świata raz tylko można stworzyć.

W epoce tej Newton był całkowicie pogrążony w świecie myśli. Rzeczywistość materyalna niemal dla niego nie istniała. Zapominał o posiłku, nie istniała dlań noc, którą spędzał nieraz, siedząc rozebrany na krawędzi łóżka, nie istnieli przyjaciele, mimo których przechodził, jak lunatyk. W roku 1686 przesłał Królewskiemu Towarzystwu wykończony rękopis swego największego dzieła „*Philosophiae Naturalis Principia mathematica*“. Wkrótce potem zapadł na chorobę psychiczną; nawet jego potężny intelekt nie zniósł tak nadmiernego wysiłku.

„Principia“ składają się z trzech ksiąg i ze wstępu. Stanowią one całkowity traktat fizyki teoretycznej. Wstęp zawiera pierwsze ujęcie w system zasad dynamiki. Starożytni zajmowali się niemal wyłącznie statyką. Galileusz badał przyśpieszenie ciał pod wpły-

wem ciężkości, znanem mu było również prawo bezwładności. Huygensa zajmował ruch kołowy. Newton w swoich „Leges motus“ ujmuje zasady dynamiczne w system i do dziś służą one za podstawę dynamiki. Pierwsze prawo ruchu, czyli zasada bezwładności orzeka o stanie ciała, wyjętego z pod działania sił. Zasada ta była już znana Galileuszowi; starożytni sądzili, że wszelkiemu ruchowi towarzyszy działanie siły. Drugie prawo ruchu orzeka o następstwach działania sił oraz o ich mierzeniu. Wreszcie trzecie prawo ruchu głosi, że źródłem siły jest zawsze jakieś ciało, i że siły w przyrodzie występują zawsze parami, jako siły równe, skierowane odwrotnie i działające na dwa ciała różne. — Księga pierwsza „Principiów“, prócz rozdziału przygotowawczego, zawierającego wykład metody granic stosunków geometrycznych, obejmuje twierdzenia, sprowadzające ruch po przecięciach stożkowych (kole, elipsie, hyperboli, paraboli) do siły dośrodkowej, odwrotnie proporcjonalnej do kwadratu odległości; dalsze rozdziały dotyczą przecięć stożkowych, prostoliniowego wznoszenia się i spadku ciał przy rozmaitym rodzaju sił przyciągających, wahadła i t. d. Ostatni rozdział dotyczy ruchu ciał bardzo drobnych i ma związek z teorią emisyjną światła. Księga druga zawiera rozważania nad ruchem ciał w ośrodku przedstawiającym opór, oraz wykład hydrostatyki. W rozdziale ósmym jest mowa o zjawiskach akustycznych, w ostatnim zaś o ruchach wirowych ciał ciekłych. W rozdziale tym Newton zbija poglądy Kartezjusza, który działania między planetami wyjaśnia wirami w ośrodku eterycznym.

Księga trzecia nosi tytuł „O układzie świata“ i zawiera wykład zasady ciężenia powszechnego. W wywodach swoich Newton powołuje się: 1) na zjawiska ujęte w prawach Keplera; 2) na twierdzenia, dotyczące siły dośrodkowej, udowodnione w rozdziałach pierwszych księgi pierwszej i 3) na prawidła, wytyczne w badaniach naukowo-przyrodniczych (regulae philosophandi), które umieszcza na czele księgi trzeciej.

Sama idea ciężenia nie była nową; zaczątki jej znajdujemy już w dziełach Kopernika, była poruszana niejednokrotnie w w. XVII, ze współczesnych zaś Newton'owi uczonych, myśl tę rozważali Halley i Hooke. Zasługą geniusza Newton'a było utożsamienie przyciągania działającego pomiędzy ciałami niebieskimi z siłą ciężkości, oraz ściśle obliczenia matematyczne, które tożsamości tej dowiodły. — Zasługi tej nie chciał uznać Hooke, i po raz drugi ostro wystąpił przeciw Newton'owi, zarzucając mu plagiat.

Wobec nieuzasadnionych pretensyj roszcącego sobie wszędzie prawo do pierwszeństwa Hooke'a^{*)}, Newton wykazał zbytnią drażliwość. Miał on wstręt do sporów i dyskusji, i obawa przed nimi była w stanie powstrzymać go od ogłoszenia dzieła, pomimo, że nie był on obojętnym na wyrazy uznania. Grawitacja nie u wszystkich znalazła uznanie. Jego myśl działania na odległość (*actio in distans*) była w sprzeczności z mechaniką kartezyańską, a siła przyciągania „właściwa“ wszystkich ciałom przypominała nieco perypatetyczne „własności ukryte“. Zachodzi tu jednak ta różnica, że własności ukryte uważane były za ostateczną, istotną przyczynę zjawisk. Newton zaś „hypotez nie wymyślał“, a prawo ciężenia powszechnego uważał za wyraz matematyczny stosunków zaobserwowanych.

Ogłoszenie „Principiów“ zapewniło Newton'owi sławę za życia, zaszczyty oraz pieniądze. W r. 1695 został on mianowany inspektorem, a następnie w r. 1699 dyrektorem mennicy z płacą 750 funtów rocznie. W r. 1699 Paryska Akademia Umiejętności mianowała go swym członkiem, a w 1675 Londyńskie Towarzystwo Królewskie swoim prezesem (godność tę piastował Newton aż do śmierci). W r. 1708 królowa Anna nadała mu tytuł szlachecki. — Lecz działalność naukowa Newton'a nie jest już płodną, prawdopodobnie skutek choroby psychicznej w r. 1693. — Newton umarł w r. 1724 w wieku lat 80 i został pochowany z wielką uroczystością w opactwie Westminsterkiem.

Całe życie Newton'a poświęcone było wyłącznie nauce. Nie był on żonaty; dom prowadziła siostrzenica jego, która mieszkała przy nim wraz ze swym mężem. Od niej pochodzą szczegóły, dotyczące jego życia prywatnego. Newton był człowiekiem głęboko religijnym, odznaczał się przy tem tolerancją względem innych. Był to człowiek godny, spokojny, pełen prostoty; spory i dyskusye były największą plagą jego życia. Lubił on w ciszy i samotności obcować z wielkimi prawdami. Każdej pracy swojej, każdej myśli oddawał się wytrwale i z całą wyłącznością, i w tem tkwi przyczyna płodności jego geniuszu. Na zapytanie, jak dochodzi do swych wynalazków, miał on odpowiedzieć: „Przez nieustanne myślenie o nich. Przedmiot mam ciągle przed sobą i czekam zanim pierwsze brzaski nie zamienią się powoli i stopniowo w zupełną jasność. — Jeśli przyniosłem ogółowi pewną korzyść, to tylko dzięki pracowitości i cierpliwemu myśleniu“.

*) P. życiorys Hooke'a w dziele optyki.

Matematyczne zasady filozofii natury *).

Określenia.

Określenie I. Ilość materji należy mierzyć wspólnie gęstością i objętością ciała^{b)}).

W podwójnej przestrzeni przy podwójnej gęstości znajduje się cztery razy większa ilość powietrza, w potrójnej zaś przestrzeni — sześć razy większa... Tę ilość materji nazywać będę w dalszym ciągu ciałem lub masą; poznajemy ją z ciężaru ciała. Przekonałem się bowiem zapomocą bardzo dokładnych doświadczeń z wahadłami, że masa ciała jest proporcjonalna do ciężaru jego.

Określenie II. Ilość ruchu należy mierzyć iloczynem z masy przez prędkość.

Ruch całości jest sumą ruchów poszczególnych części. Ilość jego jest więc dwa razy większą w ciele dwa razy większem przy tej samej prędkości i cztery razy większa w ciele dwa razy większem przy prędkości zdwojonej.

Określenie III. Materja posiada zdolność stawiania oporu, dlatego każde ciało pozostaje samo przez się w stanie spoczynku lub ruchu prostolinijnego i jednostajnego.

Określenie IV. Siła przyłożona jest to działanie, skierowane ku zmianie stanu ciała czy

*) *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687). Tłómaczenie niniejsze dokonane zostało z przekładu niemieckiego Dr. J. Ph. Wolfers'a (1872); przekład ten był porównywany z francuskim przekładem E. Jouguet'a („*Lectures de Mécanique*“ Paris 1908).

to stanu spoczynku, czy to ruchu prostoliniowego i jednostajnego, w którym się ciało znajduje.

Siła ta polega li tylko na działaniu i nie pozostaje w ciele, skoro działanie ustanie, lecz ciało trwa w tym nowym stanie tylko dzięki działaniu siły bezwładności. Siła przyłożona może pochodzić z różnych źródeł, jak np. z uderzenia, ciśnienia, siły dośrodkowej.

Określenie V. Siła dośrodkowa jest to siła, która każe ciałom dążyć do pewnego punktu, jako do środka, działając przez przyciąganie, popychanie lub jakimkolwiek innym sposobem.

Ciążenie, które sprawia, że ciała dążą ku środkowi ziemi, siła magnetyczna, która sprawia, że żelazo dąży do magnesu, i ta jakaś siła, która odciąga nieustannie planety od ich ruchu prostoliniowego i która każe im krążyć po krzywych — wszystko to są siły tego rodzaju.

Kamień obracany w procy ma dążność do oddalenia się od obracającej go ręki; wypręża on przez to swe dążenie proce —, tem silniej, im szybszym jest ruch obrotowy, i kamień odlatuje, skoro tylko go się wypuści. Siła ręki, przytrzymująca kamień, równa i przeciwna sile, którą kamień wypręża proce, a więc stale skierowana ku ręce — środkowi opisywanego koła, jest właśnie siłą, którą nazywam siłą dośrodkową. To samo ma miejsce w stosunku do wszystkich ciał, poruszających się po kołach. Wszystkie one mają dążność do oddalania się od środka ich obrotu i gdyby nie działanie jakiejś siły, która sprzeciwia się temu dążeniu i która zatrzymuje je na ich orbitach, to jest jakiejś siły dośrodkowej, oddaliłyby się one po linii prostej ruchem jednostajnym.

Pocisk nie spadłby z powrotem na ziemię, gdyby nie działała nań siła ciężkości, lecz oddalałby się w przestrzenie niebieskie ruchem jednostajnym i prostoliniowym, gdyby przytem opór powietrza nie istniał. A więc przez siłę ciężkości jest ciało odciągane od kierunku prostoliniowego i na-

ginane nieustannie ku ziemi; jest ono odciągane mniej lub więcej, zależnie od ciężkości i od prędkości jego ruchu. Im mniejszym będzie jego ciężar w stosunku do ilości materji, im większą — prędkość, z którą zostało rzucone, tem mniej zboczy ono od kierunku prostoliniowego i tem dalej pójdzie, zanim spadnie na ziemię.

Gdyby kula armatnia została wystrzelona poziomo z wierzchołka góry z prędkością, któraby pozwoliła jej przebiec dwie mile przed spadnięciem na ziemię, to przy prędkości początkowej zdwojonej upadłaby ona na ziemię dopiero po przebyciu czterech mil, zaś przy prędkości dziesięciokrotnej przebiegłaby dziesięć razy dalej (o ile nie weźmiemy pod uwagę oporu powietrza). Tak więc, zwiększając prędkość ciała, możnaby było zwiększać dowolnie drogę, którą przebywa ono przed spadnięciem na ziemię i zmniejszać krzywiznę toru, który ono opisuje. Mogłoby więc ono spaść na ziemię dopiero w odległości 10° , 30° lub 90° , lub wreszcie mogłoby ono obiegać wkoło ziemię, nigdy nie spadając, lub nawet oddalić się po linii prostej w nieskończone przestrzenie niebieskie.

Otóż na tej samej zasadzie, podług której pocisk mógłby się obracać dokoła ziemi działaniem siły ciężkości, możliwym jest, że księżyc wskutek siły ciężkości (jeśli jej podlega) lub wskutek innej siły, która skierowuje go ku ziemi, jest ustawicznie ściągany z kierunku prostoliniowego, przybliżany do ziemi i zmuszany do obiegu po krzywej, i bez podobnej siły księżyc nie mógłby być utrzymywany na swej orbicie.

Gdyby siła ta była odpowiednio mniejsza, nie odciągałaby ona dostatecznie księżyc od linii prostej; gdyby zaś była większa, odciągałaby go zbyt mocno i ciągnęłaby go z jego orbity w kierunku ku ziemi. Siła ta więc powinna być wielkości określonej i zadaniem matematyków jest znaleźć wielkość siły, gdy daną jest orbita krążącego ciała, lub odwrotnie określić krzywą, którą powinno zakreślić ciało, poruszające się pod wpływem danej siły dośrodkowej i wychodzące z danego punktu z daną prędkością.

Pewniki czyli prawa ruchu*).

Prawo I. Każde ciało trwa w swym stanie spoczynku lub ruchu prostoliniijnego i jednostajnego, jeśli siły przyłożone nie zmuszają ciała do zmiany tego stanu.

Pociski trwają same przez się w swoim ruchu, o ile prędkość ich nie zostanie zmniejszona przez opór powietrza oraz, o ile kierunek ich nie ulegnie zmianie wskutek siły ciężkości. Bąk, którego części wskutek siły spójności zbaczają bezustannie z kierunku prostoliniijnego, przestaje się obracać tylko wskutek oporu powietrza, hamującego stopniowo jego bieg. Planety zaś i komety, które posiadają większą masę i poruszają się w ośrodku, przedstawiającym mniejszy opór, zachowują dłużej ruch postępowy oraz obrotowy.

Prawo II. Zmiana ruchu jest proporcjonalna do przyłożonej siły poruszającej i odbywa się w kierunku prostej, wzdłuż której siła jest przyłożona.

Jeśli pewna siła wywołuje pewien ruch, siła dwa razy większa wywoła ruch dwa razy większy, siła trzy razy większa wywoła ruch trzy razy większy i t. d., bez względu na to, czy te siły działają jednocześnie, naraz czy stopniowo i kolejno po sobie. Ponieważ ruch jest skierowany zawsze w tym samym kierunku, jak siła, przeto, gdy ciało już przed działaniem siły znajdowało się w ruchu, ruch wywołany przez tę siłę dodaje się do poprzedniego, gdy kierunki ich są zgodne, lub też zostaje złożony z poprzednim stosownie do kierunku obu, gdy kierunki ich zawierają pewien kąt.

Prawo III. Względem każdego działania istnieje przeciwdziałanie, skierowane przeciwnie i równe; t. j. wzajemne działania dwóch

*) „Axiomata sive leges motus“¹⁾). Prawa ruchu podajemy w tłumaczeniu prof. Wł. Natansona, wyjętem z „Wstępu do Fizyki teoretycznej“, str. 28.

ciał są zawsze równe sobie i skierowane przeciwnie.

Każde ciało, które ciśnie na inne ciało lub je ciągnie, jest tą samą siłą przez to inne ciało ściskane lub ciągnięte. Jeśli ktoś naciska palcem kamień, kamień jednocześnie ciśnie na palec. Jeśli koń ciągnie za pomocą sznura kamień, jest on również przez kamień ciągnięty, gdyż sznur, który ich łączy i który jest napięty z dwóch stron, dąży w równej mierze do przyciągnięcia konia do kamienia, jak i kamienia do konia, i dążenie to o tyleż przeciwstawia się ruchowi jednego, o ile wywołuje ruch drugiego.

Jeśli ciało uderza inne ciało i jeśli wskutek tego ruch jego ulegnie jakiejś zmianie, ruch ciała uderzającego zmieni się o tę samą ilość i w kierunku przeciwnym przez siłę pochodzącą od ciała uderzonego wskutek równości ciśnienia, jakie te ciała wzajemnie na się wywierają.

Wskutek tych działań wzajemnych następują równe zmiany nie prędkości, lecz (ilości) ruchu, o ile bieg zjawisk nie jest zakłócony przez żadne zjawisko uboczne, gdyż zmiany prędkości, które odbywają się w kierunkach przeciwnych, powinny być odwrotnie proporcjonalne do mas, albowiem zmiany ilości ruchu są sobie równe. Prawo to dotyczy również przyciągania.

O układzie świata.

KSIĘGA TRZECIA.

W poprzednich księgach przedstawiłem zasady Nauki o Przyrodzie, nie fizyczne jednak, lecz tylko matematyczne, z których można również wyciągać wnioski w badaniach fizycznych. Są to prawa i warunki ruchów i sił, które dotyczą głównie Nauki o Przyrodzie. Aby się jednak nie wydawały one bezpłodnymi, opatrzyłem je pewnymi fizycznymi wyjaśnieniami, w których poruszałem to, co ogólnie i głównie zdaje się stanowić podstawę fizyki, jako-to: gęstość i opór ciał, przestrzenie wolne od ciał, ruch światła i głosu. Pozostaje jeszcze poznać na podstawie tych zasad urządzenie świata.

Z tej racji księgę trzecią miałem napisaną w sposób popularny, aby mogła być ona czytana przez wielu. Ci jednak, którzy nie zgłębili dostatecznie poprzedzających zasad, nie pojęliby siły dowodzeń i nie pozbyliby się uprzedzeń, do których przywykli od lat wielu. Z tego względu, aby rzecz nie została wciągnięta w wir sporów, ująłem treść tej książki, zwyczajem matematyków, w formę twierdzeń, aby były one tylko przez tych czytane, którzy poprzednio zgłębili „zasady“. Ponieważ jednak spotkać tam można wiele twierdzeń, które zatrzymałyby zbyt długo nawet czytelników biegłych w matematyce, nie chcę przeto zmuszać nikogo do przerabiania wszystkiego. Powinnoby wystarczyć uważne przeczytanie określeń, praw ruchu oraz trzech pierw-

szych rozdziałów księgi pierwszej, następnie możnaby przejść do księgi niniejszej o układzie świata, odszukując, stosownie do potrzeby, inne cytowane tu twierdzenia ksiąg poprzednich.

Prawidła badania natury.

Prawidło I. Nie należy dla wytlómaczenia zjawisk natury przypuszczać przyczyn więcej, niż potrzeba, aby zjawiska dane wytłómaczyć i — tylko prawdziwe.

Fizycy powiadają: W przyrodzie nie dzieje się nic zbytecznego, zbytecznym zaś jest to, co dzieje się przez dużo przyczyn, a przez mniej staćby się mogło. Gdyż prosta jest przyroda i nie szafuje rozrzutnie nadmiarem przyczyn⁵⁾.

Prawidło II. Trzeba zatem, o ile możności, jednorodnym działaniom przypisywać te same przyczyny. A więc oddychaniu ludzi i zwierząt, spadkowi kamieni w Europie i w Ameryce, światłu ognia kuchennego i światłu słońca, odbijaniu się światła na ziemi i na planetach.

Prawidło III. Te własności ciał, które nie mogą być ani powiększone, ani zmniejszone i przypadają w udziale wszystkim ciałom, które doświadczalnie zbadane być mogą, uważać należy za ogólne własności ciał.

Własności ciał bowiem poznajemy tylko przez doświadczenie, przeto za ogólne należy uważać te, które naogół zgodne są z doświadczeniem i które nie mogą być ani zmniejszone, ani zniesione. Nie należy oczywiście stwarzać sprzecznych z doświadczeniem urojeń ani też oddalać się od podobieństwa do natury, która jest prosta i zawsze ze sobą zgodna. Rozciągłość ciał może być poznana tylko przez zmysły i nie może być u wszystkich ciał stwierdzoną, ponieważ jednak spotykamy się z nią u wszystkich dostępnych nam ciał, przeto przyjmujemy ją dla wszystkich. Że pewne ciała są twarde — poznajemy przez doświadczenie. Twardość całości wynika z twardości części, mamy przeto prawo przypuszczać, że nietylko dostępne doświadczeniu cząstki tych ciał, lecz również niepodzielne cząsteczki wszy-

stkich ciał są twarde. Nieprzenikliwość ciał wysnuwamy nie z myśli, lecz z doświadczeń. Wszystko, co mamy pod ręką, jest nieprzenikliwe, i stąd wnosimy, że nieprzenikliwość jest własnością wszystkich ciał. O tem, że wszystkie ciała są ruchome i działaniem pewnej siły (którą nazywamy siłą bezwładności) trwają w ruchu lub spoczynku, wnosimy stąd, że własności te stwierdzaliśmy u wszystkich ciał badanych.

Rozciągłość, twardość, nieprzenikliwość, ruchomość i bezwładność całości wynika z tych samych właściwości jej części; wnosimy stąd, że najmniejsze cząstki ciał są również rozciągnięte, twarde, nieprzenikliwe, ruchome i obdarzone siłą bezwładności. To jest podstawą wiedzy przyrodniczej.

Prócz tego poznajemy na podstawie zjawisk, iż przylegające do siebie części ciał mogą być od siebie oddzielone. Wiadomem jest z matematyki, iż przy pomocy rachunku możemy części podzielić na jeszcze mniejsze cząstki; czy jednak taki pomyślany podział na cząstki może być urzeczywistniony przez siły przyrody, jest rzeczą niepewną. Gdyby jednak jedno doświadczenie wykazało, iż niektóre cząstki niepodzielne przy rozbijaniu twardego i stałego ciała podziałowi się poddały, to musielibyśmy stąd, zgodnie z powyższem prawidłem, wywnioskować, iż podzielnymi są nie tylko cząstki podzielone, lecz że i niepodzielone również mogą być dzielone aż do nieskończoności.

Wreszcie, jeśli wszystkie ciała znajdujące się w otoczeniu ziemi ciążą ku niej i to w stosunku do ilości materii w każdym z nich zawartej, jeśli księżyc ciążą ku ziemi w stosunku swojej masy i nawzajem nasze morze ciążą ku księżycowi, jeśli dalej stwierdzonem zostało przez doświadczenie i przez obserwacje astronomiczne, iż planety ciążą nawzajem ku sobie i komety ku słońcu, to na podstawie tegoż prawidła twierdzić należy, iż wszystkie ciała wzajemnie ku sobie ciążą. Dowód dotyczący ciążenia ciał mocniejszy jest, niż dowód nieprzenikliwości ciał, co do której nie mamy doświadczeń i obserwacji, dotyczących ciał niebieskich.

Nie twierdzę jednak, że ciężenie jest zasadniczo właściwe ciałom. Jako siłę właściwą ciałom poczytuję bezwładność, która jest niezmienną; ciężkość natomiast zmniejsza się w miarę oddalania się od ziemi.

Prawidło IV. W fizyce doświadczalnej za ścisłe lub w przybliżeniu prawdziwe należy uważać twierdzenia, wysnute ze zjawisk drogą indukcji, dopóki nie znajdą zjawiska inne, przez które twierdzenia te zostaną jeszcze mocniej ugruntowane lub poddane wyjątkom.

Tak dziać się powinno, aby hipotezy nie niszczyły argumentów indukcji.

Zjawiska.

Zjawisko pierwsze. Księżycy Jowisza zakreślają przy pomocy promieni wodzących, poprowadzonych do środka Jowisza, powierzchni proporcjonalne do czasów. Stosunek czasów obiegu ich stanowi $\frac{3}{2}$)⁶⁾ stosunku ich odległości od tego środka. Wynika to z obserwacji astronomicznych. Tory tych księżyców nie odbiegają zbyt od kół, koncentrycznych w stosunku do Jowisza, i ruchy ich po tych kołach są jednostajne...

Dalej następują dane liczbowe, dotyczące elementów toru.

W „zjawisku drugim“ N. przytacza analogiczne spostrzeżenia, dotyczące księżyców Saturna.

Zjawisko trzecie. Pięć planet: Merkury, Wenus, Mars, Jowisz i Saturn obejmują swymi torami słońce. Że Merkury i Wenus poruszają się dookoła słońca — widać to z ich faz podobnych do faz księżyca. Świecąc całym blaskiem, znajdują się one po tamtej stronie słońca, świecąc połową blasku, znajdują się w środku; zaś po tej stronie od słońca mają kształt sierpa lub też ciemnych plam przechodzących przez tarczę słońca. Dalej z pełnego światła Marsa w pobliżu konjunkcji słońca i z rogatego wyglądu jego w pobliżu kwadratur wywnioskowano z pewnością, iż obraca się on około słońca. O Jowiszu i Saturnie dowodzi się tego samego na podstawie ich stale pełnego światła; to że błyszczą

one jedynie światłem pożyczanem od słońca, wynika z cieniów rzucanych na nie przez ich księżyce.

Zjawisko czwarte. Czasy obiegu pięciu planet dokoła słońca, oraz czas obiegu słońca dokoła ziemi lub ziemi dokoła słońca, są do siebie w stosunku równym $\frac{3}{2}$ stosunku ich średnich odległości od słońca⁶⁾). Stosunek ten znaleziony przez Kepplera nie ulega wątpliwości u wszystkich planet...

Zjawisko piąte. Powierzchnie zakreślane przez promienie wodzące poprowadzone od planet do ziemi nie są proporcjonalne do czasów, natomiast powierzchnie opisywane przez promienie wodzące poprowadzone od planet do słońca są proporcjonalne do czasów.

Zjawisko szóste. Księżyc zakreśla przy pomocy promienia wodzącego przeprowadzonego do ziemi powierzchnie proporcjonalne do czasu... Ruchy księżycza zakłóca nieco siła słońca; te znikomo małe błędy pomijam przy zjawiskach.

ROZDZIAŁ I.

O przyczynach budowy świata.

§ 1. Twierdzenie. Siły, przez które księżyce Jowisza są stale odciągane od biegu prostoliniowego i utrzymywane na swoich orbitach, są skierowane ku środkowi Jowisza i odwrotnie proporcjonalne do kwadratów ich odległości od tego punktu.

Pierwsza część tego twierdzenia wynika ze Zjawiska pierwszego i z § 14⁷⁾ lub § 16 księgi pierwszej, następna część wynika z tegoż zjawiska oraz z § 18⁸⁾ tamtej księgi.

To samo dla księżyców Saturna wynika ze zjawiska drugiego.

§ 2. Twierdzenie. Siły, przez które planety są stale odciągane od ruchu prostoliniowego i utrzymywane na swych orbitach, są skierowane ku słońcu i odwrotnie proporcjonalne do kwadratów ich odległości od niego.

Pierwsza część tego twierdzenia wynika ze zjawiska piątego i z § 14 księgi pierwszej, część następna wynika ze zjawiska czwartego.

§ 3. Twierdzenie. Siła, która utrzymuje księżyc na torze jego, jest skierowana ku ziemi i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości jego od środka ziemi.

Pierwsza część tego twierdzenia znajduje swe wyjaśnienie w zjawisku szóstym i § 14 lub § 16 księgi pierwszej...

Dopełnienie. Jeśli średnią siłę dośrodkową, która utrzymuje księżyc na jego torze powiększymy z początku w stosunku 177,725 : 178,725; następnie również w podwójnym⁹⁾ stosunku promienia ziemi do średniej odległości środka księżycy od środka ziemi, to otrzymamy siłę dośrodkową, która działałaby na księżyc na powierzchni ziemi, w tem założeniu, że siła ta przy zbliżaniu się do powierzchni ziemi rośnie stale odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu odległości.

§ 4. Twierdzenie. Księżyc jest ciężki względem ziemi, jest on przez siłę ciężkości odciągany od ruchu prostoliniowego i utrzymywany na swoim torze.

...Przyjmijmy, jak to podają astronomowie, średnią odległość księżycy od ziemi równą 60 promieniom tejże, zaś sydereczny czas obiegu księżycy = 27 dniom 7 godz. 43 min. Jeśli dalej obwód ziemi zgodnie z pomiarami francuzów przyjmujemy równym 123249600 stopom paryskim¹⁰⁾ i pomyślimy, iż księżyc jest pozbawiony wszelkiego ruchu i całą siłą, którą jest on (na podstawie dopełnienia § 3) utrzymywany na swym torze, spuszcza się ku ziemi, to w ciągu minuty przejdzie on drogę równą $15\frac{1}{12}$ stopy paryskiej lub dokładniej 15 stóp 1 cal i $\frac{1}{9}$ linii miary paryskiej. Ponieważ siła ta przy przybliżaniu się ziemi wzrasta w stosunku odwrotnie proporcjonalnym do kwadratu odległości, i zgodnie z tem na powierzchni ziemi jest 60.60 większa, niż przy księżycu; przeto ciało, spadające w naszych okolicach, wskutek tej siły, musiałoby przechodzić w ciągu minuty drogę równą $60 \cdot 60 \cdot 15\frac{1}{12}$ stopy, zaś w ciągu sekundy

— $15\frac{1}{2}$ stopy, czyli dokładniej — 15 stóp 1 cal $\frac{1}{9}$ linii miary paryskiej.

I rzeczywiście ciała na ziemi spadają pod działaniem tej siły. Według Huygensa mianowicie wynosi długość wahadła, które w szerokości Paryża wybija sekundy 3 stopy 8,5 linii miary paryskiej.

Wysokość, którą zakresła ciężkie ciało, spadające w ciągu sekundy, ma się do połowy długości wahadła w stosunku podwójnym⁹⁾ obwodu koła do średnicy (według Huygensa), jest ona więc równą 15 stopom 1 calowi i $\frac{17}{9}$ liniom. Siła więc, przez którą księżyc zostaje utrzymany na swym torze jest, jak z tego wynika, równa naszej sile ciężkości i zgodnie z tem (według prawidła 1-go i 2go) jest tą samą siłą właśnie, którą nazywamy ciężkością...¹¹⁾.

§ 6. Twierdzenie. Księżycy Jowisza ciążą ku Jowiszowi, księżycy Saturna — ku Saturnowi, planety — ku słońcu i są ciągle przez siłę ciężkości odciągane od ruchu prostoliniowego i utrzymywane na torze krzywoliniowym. Ruchy księżyców Jowisza dokoła Jowisza, Saturna — dokoła Saturna, ruchy Merkurego, Wenusy i reszty planet dokoła słońca — są zjawiskami tego samego rodzaju, zależą więc (według prawidła drugiego) od przyczyn tego samego rodzaju; zwłaszcza ponieważ zostało wykazaniem, iż siły od których ruchy zależą, są skierowane ku środkowi Jowisza, Saturna i słońca i z oddaleniem od tych środków zmniejszają się w tym samym stosunku i według tego samego prawa, co siła ciężkości przy oddalaniu się od ziemi.

Dopełnienie I. Ciężkość działa więc na wszystkie planety i wszystkie księżycy... Ponieważ jednak wszelkie przyciąganie według 3 prawa ruchu jest wzajemne, przeto Jowisz ciąży ku wszystkim swoim księżycom, Saturn — ku swoim, ziemia ku księżycowi, słońce zaś ku wszystkim planetom.

Dopełnienie II. Siła ciężkości, skierowana ku każdej poszczególnej planecie jest odwrotnie proporcjonalna względem kwadratu odległości każdego poszczególnego miejsca od środka planety.

Dopełnienie III. Według dopełnienia 1-go i 2-go wszystkie planety ciążą ku sobie... i wyraźnie zakłócają wzajemnie swoje ruchy. Tak samo słońce zakłóca ruch księżycy, słońce i księżyc wpływają na nasze morze, jak to okażemy dalej.

§ 7. Uwaga. Dotychczas nazywaliśmy tę siłę, która utrzymuje ciała niebieskie na ich orbitach, — siłą dośrodkową. To, że jest ona identyczna z siłą ciężkości zostało udowodnione; będziemy ją więc odtąd nazywali ciężkością. Albowiem przyczyna tej siły dośrodkowej, która utrzymuje księżyc na jego torze — może być rozszerzona według prawidła 1, 2 i 4-go na wszystkie planety.

§ 8. Twierdzenie. Wszystkie ciała ciążą ku poszczególnym planetom, i ciężary ich względem tych planet są przy równych odległościach od ich środków proporcjonalne do ilości zawartej w nich materji. To, że spadanie wszystkich ciał ciążących ku ziemi odbywa się w czasach równych, (przynajmniej jeżeli pominąć niejednakowe opóźnienie wynikające z nieznacznego zresztą oporu powietrza), spostrzegli już inni oddawna; równość czasów można najdokładniej zaobserwować przy pomocy wahadeł. Wykonywałem doświadczenia ze złotem, srebrem, ołowiem, szkłem, piaskiem, solą kuchenną, drzewem, wodą i pszenicą. Dla porównania używałem dwóch jednakowych okrągłych pudełek. Jedno z nich napełniłem drzewem i powiesiłem kawałek złota tej samej wagi jak mogłem najdokładniej w środku ciężkości drugiego. Pudełka, wiszące na jednakowych nitkach, długich na 11 stóp tworzyły wahadła, które były dokładnie sobie równe pod względem kształtu i oporu powietrza, i umieszczone obok siebie wahały się one w ciągu długiego czasu tam i napowrót jednakowo.

Dopełnienie I. Ciężary ciał nie zależą więc od kształtu ich lub budowy. Gdyby się bowiem ciężary mogły zmieniać wraz z ich kształtem, to ciała stawałyby się to cięższe, to lżejsze, zależnie od różnych kształtów tej samej materji, co jest zupełnie sprzeczne z doświadczeniem.

Dopełnienie II. Wszystkie ciała, które otaczają ziemię są względem niej ciężkie, i ciężary ich są, jeśli się one znajdują w jednakowych odległościach od ziemi, proporcjonalne do ilości materji w każdym z nich. Zostało to doświadczalnie stwierdzone dla wszystkich ciał dostępnych, i, zgodnie z prawidłem trzecim można to twierdzić o wszystkich ciałach wogóle.

Dopełnienie V. Ciężkość jest siłą innego rodzaju, niż siła magnetyczna; ta ostatnia nie jest bowiem proporcjonalna do ilości przyciąganej materji. Pewne ciała są przyciągane mocniej, inne słabiej; wiele ciał nie ulega wcale przyciąganiu magnesu. Magnetyczna siła tego samego ciała może być wzmożona lub zmniejszona; bywa ona niekiedy w stosunku do ilości materji o wiele większa, niż siła ciężkości. Z oddaleniem się od magnesu maleje ona nie w podwójnym, lecz niemal w potrójnym stosunku, o ile mogłem określić przy pomocy dość niedokładnych doświadczeń⁹⁾.

§ 9. Twierdzenie. Ciężkość właściwa jest wszystkim ciałom i jest proporcjonalna do ilości materji zawartej w każdym z nich. Wykazaliśmy wyżej, iż wszystkie planety ciążą ku sobie wzajemnie, że ciężkość względem danej z pomiędzy nich, którą się rozpatruje z osobna, jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości od jej środka ciężkości i że wskutek tego ciężkość we wszystkich planetach jest proporcjonalna do ilości ich materji. Nadto wszystkie części danej planety *A* ciążą ku jakiegokolwiek planecie *B*, i siła ciężkości, działająca na dowolną część, ma się do siły ciężkości, działającej na całość, tak, jak materja tej całości ma się do materji tej części. Wreszcie (według trzeciego prawa ruchu) akcja równa jest reakcyi. Ze swej strony więc będzie planeta *B* ciżyć ku wszystkim częściom planety *A*, i ciążenie jej ku dowolnej części będzie się tak miało do ciążenia ku całej planecie, jak materja tej części do materji całej planety. C. b. d. d.

Dopełnienie I. Ciężenie więc ku całej planecie złożone jest z ciążenia ku wszystkim jej częściom... Jeśli ktokolwiek uczyni zarzut, iż według tego prawa wszystkie

ciała na ziemi powinnyby ku sobie ciążyć i że to ciążenie wzajemne nie daje się przecież zauważyć, to odpowiem, iż to wzajemne ciążenie między ciałami ma się do ciążenia ku ziemi tak jak masa pierwszych ma się do masy ostatniej. Przeto ciążenie wzajemne jest nazbyt słabe, aby mogło być spostrzeżeniem.

Dopełnienie II. Ciążenie ku każdej równej części ciała jest odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości od tej cząsteczki.

Uwaga ogólna... Dotąd wyjaśniałem za pomocą siły ciężkości zjawiska dotyczące ciał niebieskich i ruchów morza, lecz nigdzie nie podałem przyczyny tej siły. Siła ta pochodzi od jakiejś przyczyny, która przenika aż do środka słońca i planet, nie tracąc nic ze swego działania. Nie działa ona w stosunku do powierzchni cząstek, na które oddziaływa (jak przyczyny mechaniczne), lecz w stosunku do ilości materji stałej, i działanie jej sięga na wszystkie strony, aż do odległości niezmiernych, przyczem maleje ona stale w odwrotnym stosunku do kwadratu odległości...

Nie doszedłem jeszcze do wykrycia na podstawie zjawisk przyczyny tych własności ciążenia, hipotez zaś nie wymyślam (hypotheses non fingo). Wszystko bowiem, co metafizyczne czy fizyczne, mechaniczne lub dotyczące własności ukrytych, nie powinno być przyjmowane w fizyce eksperymentalnej. W niej wyprowadza się twierdzenia ze zjawisk i uogólnia się je przez indukcyę. W ten sposób poznaliśmy nieprzenikliwość, ruchliwość, zderzenie się ciał, prawa ruchu i ciężkości. Wystarcza, że ciężkość istnieje, że działa ona wedle praw wyżej wyłożonych i że można z jej pomocą wytłómaczyć wszystkie ruchy ciał niebieskich i morza...

UWAGI.

1) (Str. 43) Metoda fluksyi (fluentes) jest to metoda matematyczna, pokrewna rachunkowi różniczkowemu, który w tym samym czasie został wynaleziony przez Leibnitza; różni się odeń jedynie znakowaniem.

2) (Str. 45) Prawa Keplera (w r. 1609): 1) ziemia i inne planety krążą około słońca po elipsach, a słońce znajduje się w jednym z ognisk każdej z tych elips; 2) pole zakreślone przez prostą, łączącą planetę ze słońcem, wzrasta proporcjonalnie do czasu; 3) kwadraty czasów całkowitego obiegu różnych planet około słońca są w przybliżeniu proporcjonalne do trzecich potęg średnich odległości ich od słońca.

3) (Str. 48) To jest iloczynem z gęstości przez objętość.

4) (Str. 51) Lex. I. Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum suum mutare.

Lex. II. Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae, et fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.

Lex. III. Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse aequales et in partes contrarias dirigi.

5) (Str. 54) Por. z ustępem z Kopernika na str. 22.

6) (Str. 56) Stosunek $\frac{3}{2}$ dotyczy wykładników.

7) (Str. 57) § 14 księgi pierwszej zawiera dowód twierdzenia następującego. Każde ciało, które porusza się po jakiegokolwiek krzywej, której promienie są zwrócone do jakiegoś punktu bądź znajdującego się w spoczynku, bądź w ruchu jednostajnym i prostoliniowym, i zakreśla promieniami tymi przestrzenie proporcjonalne do czasów, poddane jest działaniu siły dośrodkowej do tego punktu skierowanej.

⁸⁾ (Str. 57) § 18 księgi pierwszej zawiera dowód twierdzenia następującego. Siły dośrodkowe, działające na takie ciała, które opisują różne koła ruchem jednostajnym, są skierowane ku środkowi kół tych i są wprost proporcjonalne do kwadratów łuków, zakreślonych ruchem jednostajnym, i odwrotnie proporcjonalne do promieni.

⁹⁾ (Str. 58 i 59) „W podwójnym“ — ma tu znaczyć w stosunku do kwadratu.

¹⁰⁾ (Str. 58) Stopa paryska = 0,32485 metra, 1 cal par. = 0,0270707 metra, 1 linia = 0,0022559 metra. Stopa = 12 calom = 144 liniom.

¹¹⁾ (Str. 59) Przyspieszenie w ruchu jednostajnym po kole obliczamy za pomocą wzoru:

$$a = \frac{4\pi^2 R}{T^2};$$

stosując ten wzór do obrotu księżyca dokoła ziemi i oznaczając przez r promień kuli ziemskiej, przez R średnią odległość księżyca od ziemi i biorąc $T = 27$ dniom 7 godz. 43 min. = 39343 min., otrzymamy ($R = 60r$):

$$a = \frac{2\pi \times 2\pi r \times 60}{T^2} = \frac{2\pi \times 123249600 \times 60}{39343^2} = 30.023 \frac{\text{stopa.}}{\text{min.}^2}$$

Przyspieszenia tego doznaje księżyc pod wpływem działania siły wypadkowej, składającej się z przyciągania ziemi i z przyciągania słońca; przyspieszenie wywołane przez przyciąganie ziemskie jest większe w stosunku

$$\frac{178.725}{177.725}, \text{ czyli } a' = \frac{30.023 \times 178.725}{177.725} = 30.192 \frac{\text{stopa.}}{\text{min.}^2}$$

Drogę przebytą ruchem jednostajnie przyspieszonym obliczamy podług wzoru:

$$s = \frac{1}{2}at^2; \text{ dla } t=1, s = \frac{1}{2}a.$$

Stąd droga przebyta w ciągu minuty

$$s = \frac{30.192}{2} = 15.096 \text{ stopy.}$$

Gdyby księżyc znajdował się na powierzchni ziemi, to i przyspieszenie i droga byłyby 60² razy większe, a więc księżyc przebywałby 60² × 15.096 stopy na minutę czyli 15.096 stopy na sekundę.

Z drugiej strony możemy wyznaczyć przyspieszenie ziemskie z wzoru na czas drgania wahadła. Wiadomo, że oznaczając przez T czas drgania wahadła, przez l — jego długość i przez g — przyspieszenie ziemskie, otrzymujemy, iż

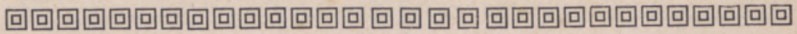
$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Podług Huygensa dla $T = 1$ sek. długość wahadła l wynosi 3 stopy 8.5 linii = 3.059 stopy, a więc

$$1 = \pi^2 \frac{l}{g}; \quad g = \pi^2 l.$$

Droga przebyta w ciągu sekundy

$$s = \frac{1}{2} g t^2 = \frac{1}{2} \pi^2 l = \frac{1}{2} \pi^2 \times 3.059 = 15,0955 \text{ stopy.}$$



PASCAL.

(1623—1662).

Blaise Pascal, wielki filozof i matematyk, przyszedł na świat we francuskim mieście Clermont. Matka odumarała go w trzecim roku życia, i odtąd wychowaniem jego i kształceniem zajmował się jego ojciec Etienne Pascal, człowiek bardzo wykształcony, zdolny matematyk. Pozostawał on w stosunkach przyjacielskich ze współczesnymi mu fizykami i matematykami, jak Mersenne, Roberval, Fermat i inni. Uчени zbierali się co czas pewien celem roztrząsania zagadnień matematycznych; kółko ich było zawiązkiem, z którego w r. 1666 minister Colbert utworzył Paryską Akademię Umiejętności. Młody Blaise Pascal, który wykazywał niezwykle zdolności umysłowe, bywał zazwyczaj obecny na zebraniach naukowych swego ojca. Po pewnym jednak czasie, widząc przedwczesny rozwój syna i obawiając się zresztą, aby upodobanie do matematyki nie odciągnęło go od studyów nad filologią klasyczną, do których go przeznaczał, Etienne Pascal usunął syna od tych zebrań i pozbawił go książek matematycznych. Wtedy to, mając lat dwanaście, samodzielnie dochodzi Pascal do niektórych twierdzeń Euklidesa, i ojciec zastaje go nad twierdzeniem o sumie kątów w trójkącie. Odtąd wolno mu było zajmować się matematyką, studyować dzieła Euklidesa i innych geometrów. Wybitny jego talent geometryczny dojrzał bardzo wcześnie. W wieku lat szesnastu napisał rzecz „O przecięciach stożkowych“ (Essai pour les coniques, r. 1640), której wartość naukowa podnoszona była przez Leibniza. Następnie zajmował się również własnościami cykloidy i innych krzywych, w 19 roku życia wynalazł automatyczne liczydło do czterech działań. Do tego wynalazku skłoniła go pobudka praktyczna: ojciec polecił mu wykonanie pewnych obliczeń dla izby podatkowej, której prezesem był podówczas.

Rachunki te nużyły młodego Pascala, i wołał on poświęcić znacznie więcej czasu i wysiłku twórczego na konstrukcję liczydła, niżeli na czysto mechaniczne wykonywanie obliczeń. — Zajmował się on również pracami z arytmetyki teoretycznej. Około roku 1647 dowiedział się o doświadczeniach Torricellego z próżnią i postanowił doświadczenia te sprawdzić. Kwestya próżni zajmowała umysły uczonych od czasów Arystotelesa. Starożytni twierdzili, że próżnia jest niemożliwa, gdyż natura ma bojaźń próżni (horror vacui). Galileusz zauważył we Florencyi, że woda w pompach ssących podnosi się tylko do pewnego poziomu; wynikało stąd, że bojaźń próżni ma granice. Torricelli (1608—1647), uczeń Galileusza, wpadł na pomysł sprawdzenia, do jakiego poziomu sięga obawa próżni, jeśli wodę zastąpić rtęcią. Wykonując doświadczenie to razem z Vivianim, przekonał się, że stosunek wysokości słupów wody i rtęci równy jest odwrotności stosunku gęstości tych cieczy. Torricelli pierwszy przypisał ciśnieniu powietrza podnoszenie się cieczy w rurce. Guericke (p. str. 77) przez wynalezienie pompy pneumatycznej stworzył próżnię, w której można było wykonywać doświadczenia. Pascal z zasady Torricellego wyprowadził wniosek: jeśli wysokość słupa rtęci utrzymywana jest przez ciśnienie powietrza, to wysokość ta musi być mniejsza tam, gdzie ciśnienie jest mniejsze, t. j. musi być mniejsza na szczycie góry, niż u jej podnóża. Wniosek ten został sprawdzony doświadczeniem, wykonanem z polecenia Pascal'a przez szwagra jego Périer'a na szczycie i u podnóża góry Puy de Dôme, znajdującej się w pobliżu Clermont. Ciśnienie atmosfery zyskało ostatecznie prawo obywatelstwa w fizyce, zaś obawa próżni wraz z innymi „własnościami ukrytymi“ przeszła do zabytków historycznych.

Wyniki swoich doświadczeń opisuje Pascal w rozprawie „*Récit de la grande expérience de l'équilibre des liqueurs*“, wydanej w Paryżu w r. 1648; wyjątki z niej cytujemy poniżej.

Pascal zajmował się również doświadczeniami, dotyczącymi własności cieczy i odkrył prawa o ciśnieniu cieczy na ścianki naczynia oraz o niezależności ciśnienia na dno od kształtu naczynia. Wyniki tych doświadczeń podał w rozprawie „*Traité de l'équilibre des liqueurs*“, wydanej w Paryżu w r. 1663.

Umysł jego prócz zagadnień matematycznych absorbowały głównie zagadnienia filozoficzne, jak zagadnienie bytu, nieśmiertelności duszy, wiary i wiedzy. W matematyce przejawiał się jego

genjusz geometryczny, lecz nie znalazł on w dziełach Pascala pełnego wyrazu, gdyż poruszał on tematy geometryczne tylko dorywczo; w fizyce, która w życiu jego również była tylko epizodem, umiał on nie tylko stawiać zagadnienia teoretyczne, lecz i rozstrzygać je na drodze eksperymentu.

Zagadnienia filozoficzne doprowadziły go do mistycyzmu religijnego i do ascezy. Z pomiędzy dzieł filozoficznych najbardziej znane są jego „Myśli“.

Nie tu miejsce na szczegółową analizę wszystkich przejawów tej bogatej i wzniosłej duszy. Przedwczesny i nadmierny wysiłek duchowy nadwreżył wątłe z natury zdrowie Pascala. Już w dwudziestym roku życia zaczął on cierpieć, i cierpienie fizyczne nie opuszczało go aż do śmierci.

Pascal umarł w wieku lat 39.

Opowiadanie o wielkiem doświadczeniu dotyczącem równowagi
płynów *).

LIST PASCAL'A DO PÉRIER'A

15 listopada 1647 r.

Nie odrywałbym Pana od ciągłej pracy, związanej z Pańskim zawodem, aby zajmować Pana kwestyami fizycznymi, gdybym nie wiedział, iż są one dla Pana wypoczynkiem w wolnych chwilach i nieutrudającą rozrywką...

To, co Panu dziś zakomunikuję, będzie tylko ciągiem dalszym naszych rozmów o próżni. Zna Pan mniemania filozofów, dotyczące tego przedmiotu: wszyscy oni uważali za pewnik, że natura obawia się próżni; i wszyscy niemal, co zatem idzie, utrzymywali, iż próżnia jest niemożliwością w naturze, która raczejby samą siebie zniszczyła, niżby przyjąć miała próżnię. — W mojej rozprawie o próżni starałem się zwalczyć to zdanie i sądzę, że dane doświadczenia, które zebrałem co do tej kwestyi, wykażą jasno, że natura może pozostawić dowolnie wielką, wolną od wszelkiej materyi przestrzeń, i że takową w rzeczywistości pozostawia.

Zajmuję się obecnie poszukiwaniem danych, które pozwoliłyby rozstrzygnąć, czy działanie, przypisywane obawie

*) „Récit de la grande expérience de l'équilibre des liqueurs”. Wyjątki tu przytoczone wzięte zostały z książki Henri Coupin'a „Lectures scientifiques”, Paryż u Colina r. 1911, oraz z książki Dannemanna: „Aus der Werkstatt grosser Forscher”, Lipsk 1908.

próżni, może być sprowadzone do czegoś podobnego, czy też powodowanem jest przez ciężkość i ciśnienie powietrza. Obmyśliłem doświadczenie, które powinno kwestyę tę wyjaśnić, o ile będzie wykonane z odpowiednią ścisłością.

Chodzi o wykonanie znanego¹⁾ doświadczenia z próżnią kilkakrotnie tego samego dnia, w tej samej rurce, z tą samą rtęcią raz po raz to u podnóża, to na szczycie góry wzniesionym najmniej na pięćset do sześciuset tuazów²⁾, aby sprawdzić, czy wysokość słupka rtęci w rurce w obu wypadkach będzie jednakowa, czy też różna. Poznaje Pan już zapewne, że doświadczenie to rozstrzygnie kwestyę, i że, jeśli wypadnie wysokość rtęci mniejsza na szczycie, niż u podnóża góry, (co skłonny jestem przypuszczać pomimo przeciwnego przekonania tych wszystkich, którzy się nad tą sprawą zastanawiali), wyniknie stąd niezawodnie, iż ciężkość i ciśnienie powietrza stanowią jedyną przyczynę tego zatrzymania się rtęci, nie zaś obawa próżni; jest bowiem rzeczą pewną, iż o wiele więcej powietrza ciąży u podnóża góry, niż na jej wierzchołku; trudno jest natomiast przypuszczać, iż natura bardziej obawia się próżni u podnóża, niż na wierzchołku góry. Wykonanie tego doświadczenia związane jest z pewnemi trudnościami. Trzebaby do tego celu znaleźć dostatecznie wysoką górę w pobliżu miasta. Musiałby się przytem znajdować tam ktoś, kto doświadczenie to potrafiłby wykonać z należną starannością. Ponieważ trudnoby było znaleźć po za Paryżem kogoś odpowiedniego, również jak i miejsce, odpowiadające warunkom doświadczenia, przeto uszczęśliwiony jestem, iż znalazłem zarówno osobę, jak i miejsce, ponieważ miasto Clermont leży u podnóża góry Puy-de-Dôme 500 tuazów wysokiej i dalej ponieważ żywię nadzieję, iż Pan zechce sam to doświadczenie wykonać.

LIST PÉRIER'A DO PASCAL'A

22 września 1648 r.

Nareszcie wykonałem doświadczenie, którego od tak dawna Pan sobie życzył. Przesyłam Panu poniżej dokładne sprawozdanie.

W sobotę 19-go bieżącego miesiąca pogoda była zmienne; pomimo to koło godziny piątej zrana zdawało się być dość ładnie, i ponieważ wierzchołek Puy-de-Dôme był odsłonięty, zdecydowałem się więc wejść nań, aby wykonać doświadczenie. Powiadomiłem przeto o tem kilku szanownych obywateli miasta Clermont, którzy prosili mnie, abym ich uprzedził o dniu, kiedy się tam udam; pomiędzy nimi było kilku duchownych, pozatem — świeccy... Wszyscy — ludzie wielce uzdolnieni, nie tylko w kierunku swego zawodu, lecz również w naukach, to też byłem zachwycony, iż mogę w ich towarzystwie urzeczywistnić ten piękny zamiar. Zebraliśmy się więc wszyscy dnia tego koło godziny ósmej zrana w ogrodach Ojców Minimów, które znajdują się w najniższej niemal okolicy miasta i rozpoczęliśmy tam doświadczenie w sposób następujący. Naprzód nalałem do naczynia szesnaście funtów rtęci, którą czyściłem przez trzy dni poprzednie, i, wzięwszy dwie rurki szklane równej grubości, długości czterech stóp, hermetycznie zatopione z jednego końca i otwarte z drugiego, wykonałem z każdą z nich wiadome doświadczenie z próżnią w tem samym naczyniu, poczem, gdy zbliżyłem i zetknąłem ze sobą obie rurki, nie wyjmując ich z naczynia, okazało się, iż rtęć, pozostała w każdej z nich, znajdowała się na tym samym poziomie — dwadzieścia sześć cali i trzy i pół linii po nad poziomem rtęci w naczyniu. Przerobiłem to doświadczenie w tem samym miejscu, w tych samych dwóch rurkach, z tą samą rtęcią i w tem samym naczyniu jeszcze dwa razy i ciągle wypadało, że rtęć w obu rurkach jest na tym samym poziomie i na tej samej wysokości, co za pierwszym razem.

Poczem pozostawiłem jedną z tych rurek w naczyniu dla porównania, zaznaczyłem na szkle wysokość rtęci i, pozostawiając tę rurkę na tem samym miejscu, uprosiłem R. P. Chastin'a, jednego z miejscowych mnichów, człowieka równie pobożnego, jak uzdolnionego i znającego się bardzo dobrze na tych kwestyach, aby obserwował od czasu do czasu w ciągu dnia, czy nie zajdzie w niej jaka zmiana. Z drugą zaś rurką i z częścią tej samej rtęci udałem się w towarzystwie reszty panów na szczyt Puy-de-Dôme, wzniesiony ponad ogrodem klasztornym na jakieś pięćset tuazów, gdzie po wykonaniu tego samego doświadczenia w ten sam sposób, co w ogrodzie klasztornym, okazało się, że w tej rurce pozostawały tylko dwadzieścia trzy cale i dwie linie rtęci, gdy w ogrodzie klasztornym w tej samej rurce było dwadzieścia sześć cali i trzy i pół linii —, że więc pomiędzy poziomem rtęci w rurce w obu tych wypadkach zachodzi różnica trzech cali i półtorej linii. Napełniło to nas zachwytem i podziwem i tak nas zdumiło, że dla własnej przyjemności zapragniemy powtórzyć doświadczenie. To też wykonałem je jeszcze pięć razy bardzo dokładnie w różnych punktach wierzchołka góry, zarówno pod dachem w znajdującej się tam małej kaplicy, jak na otwartem powietrzu, zarówno w zaciszu, jak na wietrze, zarówno przy pięknej pogodzie, jak w czasie deszczu i mgły, która nas tam od czasu do czasu nawiedzała, — oczyszczając za każdym razem bardzo starannie rurkę z powietrza: za każdym razem znajdowałem tę samą wysokość poziomu rtęci w rurce, równą dwudziestu trzem calom i dwom liniom, a więc różną o trzy cale i półtorej linii od wysokości w ogrodzie klasztornym, równej dwudziestu sześciu calom i trzem i pół liniom, co też nas w zupełności zadowoliło.

Później, schodząc z góry, przerobiłem w drodze to samo doświadczenie zawsze z tą samą rurką, tem samym żywym srebrem i tem samym naczyniem w miejscu zwanem „Lafon de l'Arbre“ i położonem znacznie ponad ogrodem klasztornym i znacznie niżej niż wierzchołek góry; i znalazłem, że wysokość żywego srebra wynosiła tam dwadzieścia pięć cali.

Przerobiłem doświadczenie poraz drugi w tem samem miejscu, i p. Mosnier, jeden z moich towarzyszy, przerobił je przez ciekawość sam: przerobił więc je również w tem samem miejscu, i ciągle wypadła ta sama wysokość, równa dwudziestu pięciu calom, mniejsza od tej, która została znalezioną w ogrodzie klasztornym o cal i trzy i pół linii, oraz większa od tej, którą znaleźliśmy przed chwilą na szczycie Puy-de-Dôme o cal i dziesięć linii; wzmogło to w znacznym stopniu nasze zadowolenie, gdyż widzieliśmy, iż wysokość żywego srebra zmniejsza się stosownie do poziomu danych miejsc.

Wreszcie, powróciwszy do ogrodu klasztornego, znalazłem tam naczynie, które zostawiłem dla porównania, w tej samej wysokości, w której je pozostawiłem, równej dwudziestu sześciu calom i trzem i pół liniom, w której to wysokości, według sprawozdania R. P. Chastin'a, który pozostawał przy rurce tej celem obserwowania jej, nie zaszła w ciągu całego dnia żadna zmiana, chociaż czas był bardzo niestały, chwilami pogodny, chwilami dżdżysty, to mglisty, to znów wietrzny.

Przerobiłem tam doświadczenie raz jeszcze z rurką, którą nosiłem na Puy-de-Dôme i w naczyniu, w którym znajdowała się rurka, pozostawiona dla porównania; znalazłem, że w obu rurkach żywe srebro znajdowało się na tym samym poziomie...

Rozprawa o równowadze płynów *).

Jeśli zawiesimy na ścianie kilka naczyń: jedno takie (fig. 10), jak na fig. I, drugie pochylone, jak na II, trzecie bardzo szerokie, jak na III, inne — wąskie, jak na IV, inne mające kształt wąskiej rurki zakończonej u dołu szerokiemi, lecz bardzo niskiem naczyniem, jak na fig. V, i jeśli napelnimy je wszystkie wodą do tej samej wysokości, i jeśli wszystkie one będą miały otwory jednakowe u dołu, zakorkowane, aby zatrzymać wodę, doświadczenie wykazuje, że trzeba jednakowej siły, aby utrzymać te korki, chociaż ilość wody w tych różnych naczyniach jest różna, gdyż ma ona we wszystkich tę samą wysokość; i miarą tej siły jest ciężar wody, zawartej w pierwszym naczyniu, które ma kształt wszędzie jednostajny; gdyż jeśli woda ta waży sto funtów, potrzeba będzie siły stu funtów, aby utrzymać każdy z korków—, nawet korek piątego naczynia, chociażby woda w niem zawarta nie ważyła nawet uncyi.

Aby to doświadczenie wykonać ściśle, trzeba zatkać otwór piątego naczynia kawałkiem drzewa, zawiniętego w materię, na wzór tłoka pompy, któryby wchodził i poruszał się w tym otworze, nie zatrzymując się zbyt długo, jednak nie dopuszczając, aby woda wychodziła; do środka tego tłoka należy przymocować nitkę, przeciągnąć ją przez wąską rurkę,

*) „Traité de l'équilibre des liqueurs“, Paris 1663. Powyższe wyjątki tłómaczone są z wypisów „Lectures scientifiques“ Henri Coupin'a, Paryż, Colin, r. 1911.

umocować do ramienia wagi i przywiązać do drugiego ramienia ciężar stu funtowy: zobaczymy, że nastąpi zupełna równowaga stu funtów i wody, ważącej jedną uncję, zawartej w wąskiej rurce. I jeśli ujmiemy coś z tego sto funtowego ciężaru, ciężar wody popchnie tłok na dół, a wskutek

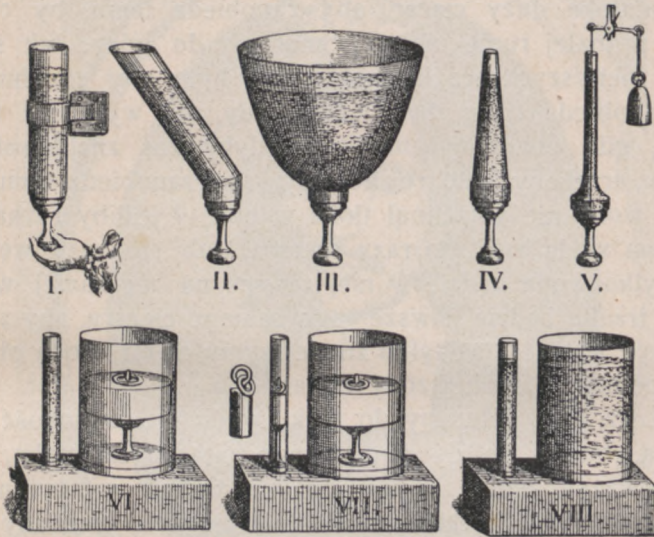


Fig. 10.

Doświadczalne stwierdzenie prawa Pascala o ciśnieniu na dno.

tego opuści się ramię wagi, na którym jest uciepiony, i podniesie się to ramię, na którym wisi ciężar niewiele mniejszy, niż sto funtów.

Gdyby woda ta zamarzła, i gdyby lód ten nie przymarzał do naczynia, jak się też w rzeczywistości zazwyczaj zdarza, potrzeba będzie ciężaru stu funtów, aby zrównoważyć ciężar tego lodu stopionego w wodę, chociaż według przypuszczenia waży on tylko uncję.

To samo miałyby miejsce, gdyby zakorkowane otwory znajdowały się z boku lub nawet u góry; i byłoby nawet łatwiej w ten sposób wykonywać doświadczenie.

Trzeba mieć naczynie ze wszystkich stron zamknięte i zrobić w niem u góry dwa otwory: jeden bardzo mały, drugi bardzo duży i przylutować na jednym i na drugim rurki szerokości odpowiedniej do wielkości każdego z tych otworów; i zobaczymy, że jeśli do rurki szerokiej włożymy tłok i nalejemy wody do rurki wąskiej, trzeba będzie położyć na tłoku duży ciężar, aby zapobiedz temu, by ciężar wody w małej rurce nie wypchnął go do góry: tak samo jak w pierwszych przykładach trzeba było siły stu funtów, aby zapobiedz temu, by ciężar wody nie wypchnął tłoka w dół, gdy otwór był na dole; gdyby zaś znajdował się z boku, trzebaby było równej siły, aby zapobiedz temu, by ciężar wody nie wypchnął tłoka w bok. I jeśliby rurka napełniona wodą była sto razy szersza, lub sto razy węższa, jeśli tylko woda będzie w niej zawsze na tej samej wysokości, trzeba będzie zawsze tego samego ciężaru, aby zrównoważyć wodę, i, jak tylko zmniejszymy ciężar, woda obniży się i podniesie zmniejszony ciężar.

Lecz, jeśli dolejemy do rurki wody na wysokość podwójną, trzeba będzie podwójnego ciężaru na tłoku, aby zrównoważyć wodę; i również, gdybyśmy w dwójnasób zwiększyli otwór, w którym znajduje się tłok; trzebaby podwoić siłę, potrzebną do utrzymania podwójnie dużego tłoka; widzimy stąd, iż siła potrzebna na to, aby powstrzymać wodę od wypływania przez dany otwór, jest proporcjonalna do wysokości wody, nie zaś do jej długości¹⁾ i że miarą tej siły jest zawsze ciężar całej wody, zawartej w słupie, mającym wysokość wody i przekrój otworu.

To co powiedziałem o wodzie, powinno stosować się do wszelkich innych płynów.

UWAGI.

¹⁾ (Str. 70) Doświadczenie Torricellego.

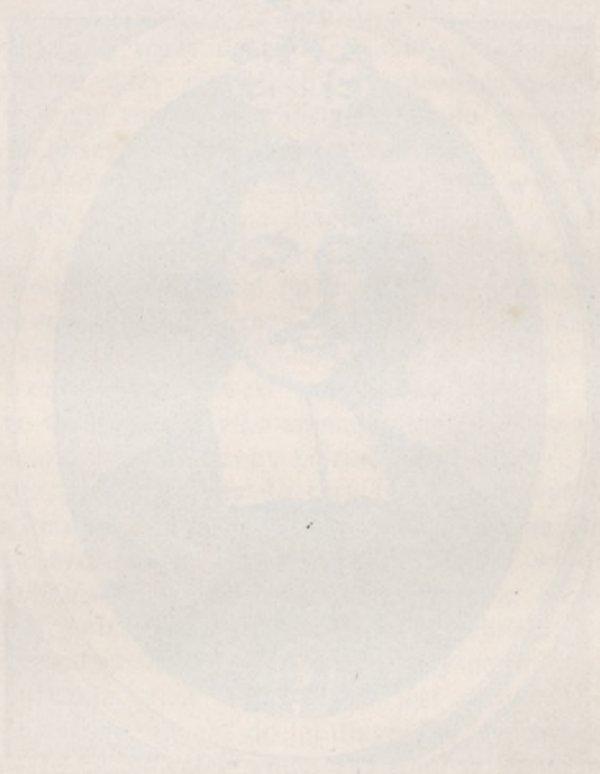
²⁾ (Str. 70) Toise — miara francuska = 1,949 metra.

³⁾ (Str. 76) Podajemy dosłownie tłumaczenie źródła; powiedzielibyśmy obecnie raczej „do ilości“.

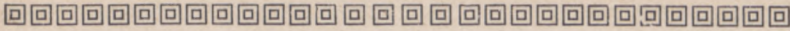


OTTO DE GUERICKE

Sereniss: & Potentiss: Elector: Brandeb:
Consiliarius & Civitat: Magdeb Consul:



OTTO CSERICH
Königliche Hof- und
Landesbibliothek



OTTO von GUERICKE.

(1602—1686).

Otto v. Guericke urodził się w Magdeburgu w pruskiej Saksonii. Studyował prawo w Lipsku, Helmsztacie i Jenie, zaś nauki matematyczne, głównie geometryę i mechanikę — w Leydzie. Następnie odbył podróż po Francyi i Anglii. Po powrocie w roku 1627 zostaje radnym Magdeburga. Były to czasy burzliwe wojny trzydziestoletniej. W r. 1631 Magdeburg został zburzony przez Szwedów. Do r. 1636 pozostaje Guericke w służbie szwedzkiej, jako główny inżynier miasta Erfurtu. W r. 1646 zostaje burmistrzem rodzinnego miasta i zajmuje się jego odbudowaniem; buduje między innymi most na Elbie. W r. 1676 złożył urząd burmistrza i udał się do syna do Hamburga, gdzie zmarł w r. 1686 w sędziwym wieku. Wśród czynnego i burzliwego życia zajmował się wiele zagadnieniami naukowymi; interesowała go ich strona doświadczalna. Najważniejsze jego doświadczenia dotyczą hydro- i aerostatyki. Pobudzony przez badania Galileusza, Torricellego i Pascala szuka sposobów wytworzenia próżni; tą drogą dochodzi do wynalezienia pompy pneumatycznej. Przy jej pomocy wykonywa różne doświadczenia, które wykazują ciśnienie powietrza. Najbardziej znanem jest jego doświadczenie z półkulami magdeburскими. Buduje on również barometr wodny.

Wszystkie te doświadczenia opisuje w dziele: „*Otonis de Guericke experimenta nova, ut vocantur magdeburgica de vacuo spatio*“ (Ottona de Guericke doświadczenia nowe, tak zwane Magdeburskie, nad przestrzenią próżną), napisanem w r. 1663, wydanem w Amsterdamie w r. 1672. W dziele tem Guericke wyraża przeświadczenie, że obawa próżni nie istnieje i że przyczyną zjawisk jej przypisywanych jest ciśnienie atmosfery.

Doświadczenia Guericke'go, dzięki środkom, jakimi rozporządzał z urzędu oraz stosunkom jego z dworami, wykonywane były z przyrządami olbrzymich rozmiarów, publicznie (np. na sejmach), bardzo uroczyście i efektownie. Przyczyniły się one bardzo do spopularyzowania wiedzy fizycznej. Prócz doświadczeń z dziedziny pneumatyki Guericke zajmował się również astronomią; był on zwolennikiem systemu Kopernika i pierwszy wypowiedział twierdzenie, że czas powrotu komet może być obliczony.

W kwestyach astronomicznych korespondował ze znanym astronomem i historykiem polskim, Stanisławem Lubienieckim, który należał do sekty religijnej socyniańskiej i był autorem dzieła „Theatrum cometicum“, wydanego w Amsterdamie, w r. 1668. — Guericke zajmował się również zjawiskami elektrycznymi; wynalazł pierwowzór maszyny elektrycznej: kulę z siarki, osadzoną na osi, i pocieraną ręką; odkrył przyciąganie się ciał naelektryzowanych przeciwnie i utożsamiał iskrę elektryczną z błyskawicą.

W bibliotece publicznej w Berlinie przechowywana jest pompa Guericke'go oraz półkule magdeburskie.

Otto v. Guericke, zdolny eksperymentator, wybitne miejsce w fizyce zawdzięcza głównie doświadczeniom z dziedziny pneumatyki.

Ottona v. Guericke'go nowe (t. zwane) Magdeburgskie doświadczenia
nad przestrzenią próżną *).

ROZDZIAŁ II.

Pierwsza próba otrzymania próżni przez wyciągnięcie powietrza.

W czasie rozmyślań nad bezmiarem przestrzeni i nad tem, że musi ona znajdować się wszędzie, przyszło mi na myśl doświadczenie następujące: Napełnijmy wodą beczkę od wina lub piwa i zatkajmy ją szczelnie ze wszystkich stron, aby zewnętrzne powietrze nie mogło przeniknąć do środka. W dolnej części beczki umocujmy rurę metalową, przy pomocy której woda może być wyciągana; woda wskutek swego ciężaru powinna wtedy opaść i pozostawić w beczce ponad sobą przestrzeń bez powietrza (a więc również bez jakiegokolwiek innego ciała), czyli próżnię.

Aby wynik odpowiedział temu rozważaniu, urządziłem sobie pompę mosiężną *a b c* (fig. 11) podobną do tych, jakich używa się w czasie pożarów, z tłokiem *g*, zaopatrzonym w kolbę i wykonanym bardzo dokładnie (tak, iż powietrze nie mogło wychodzić lub wchodzić po jego bokach).

*) „Ottonis de Guericke Experimenta Nova (ut vocantur) Magdeburgica de Vacuo Spatio” Amstelodami 1672. — Przekład niniejszy dokonany został z tłumaczenia niemieckiego F. Dannemana, wyd. w 59 t. „Klasyków” Ostwalda.



Fig. 11.

Otrzymywanie próżni w beczce.

W pompie znajdowały się dalej dwie skórzane klapki, z których wewnętrzna *a* lub *d*, znajdująca się w przykrywce pompy, powinna była wpuszczać, zewnętrzna zaś *b* — wypuszczać wodę. Po przymocowaniu pompy (przy pomocy żelaznego kółka *e* opatrzonego czterema uszkami) do dolnej części *a* beczki — sprobowałem wyciągnąć wodę. Wpierw jednak, zanim woda mogła pójść za tłokiem, urwały się uszka i żelazne śruby, przy pomocy których pompa przymocowana była do beczki.

Usiłowanie jednak nie było pozbawionem widoków powodzenia. Gdy zaradzono złemu przez zastosowanie mocniejszych śrub, mogli wreszcie trzej mocni mężowie (*viri quadrati*), którzy ciągnęli za kolbę pompy, wypchnąć przez górną klapę *b* wodę, idącą za tłokiem. Przytem dał się jednak słyszeć we wszystkich częściach beczki szmer taki, jakby się woda gwałtownie gotowała, i trwało to tak długo, dopóki w beczce miejsca wyciągniętej wody nie zapełniło powietrze.

Powietrze
przenika przez
drzewo.

Złu temu trzeba było w jakiś sposób zaradzić. Postarano się przeto o mniejszą beczkę i umieszczono ją wewnątrz większej. Gdy wówczas rura dłuższej pompy przeprowadzona została przez deski obu beczek, kazałem napęlnić mniejszą beczkę wodą, uszczelnić otwór i, po napęlnieniu wodą również większej beczki, rozpocząć pracę od początku. Teraz udało się wyciągnąć wodę z mniejszej beczki, i na miejscu jej pozostała niewątpliwie próżnia.

Gdy jednak po upływie dnia zaprzestano pracy, i wszystko dokoła ucichło, dał się słyszeć zmienny, przerywany od czasu do czasu dźwięk, podobny do cichego ptasiego świergotu. Trwało to prawie całe trzy dni. Gdy otworzono mniejszą beczkę, znaleziono ją napęlnioną w dużej części powietrzem i wodą. Niemniej jednak część jej była pusta, gdyż w czasie otwierania wtargnęło trochę powietrza.

Wszyscy byli pełni zdumienia, że woda przeniknęła do beczki, tak starannie ze wszystkich stron zatkaney i uszczelnionej...

ROZDZIAŁ III.

Druga próba otrzymania próżni przez wyciąganie powietrza.

Gdy tym sposobem zarówno obserwacya bezpośrednia, jak i doświadczenie dowodziły porowatości drzewa, wydało mi się, że bardziej odpowiednią dla mojego celu będzie kula miedziana (którą wolebny Ojciec Schott w swojej książce o doświadczeniach Magdeburgskich nazywa „cacabus“). Pojemność tej kuli *A* równa była 60—70 miarom Magdeburgskim, i była ona opatrzona u góry kurkiem mosiężnym *B*, z dołu zaś była szczelnie połączona z pompą. Następnie przystąpiłem, jak poprzednio, do wyciągania wody, a zarazem powietrza.

Iconismus V.
fig. II.

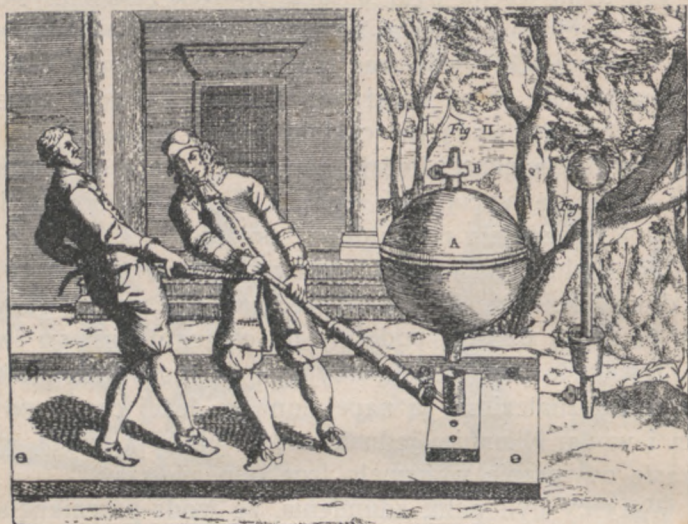


Fig. 12.

Opróżnianie kuli miedzianej.

Początkowo tłok dawał się poruszać z łatwością, stopniowo jednak stawało się to coraz trudniejszym tak, że dwóch mocnych mężów zaledwie mogło tłok wyciągnąć. W czasie, gdy zajęci oni byli jeszcze poruszaniem tłoka tam i z powrotem i już myśleli, że usunęli prawie całe powietrze, kula metalowa została nagle zgnieciona z wielkim hukiem ku ogólnemu przerażeniu tak, jak się zgniata w palcach chustkę, lub jakby kula z gwałtownym łoskotem zrzucona została z wierzchołka wysokiej wieży.

Miedziana kula została zgnieciona przez powietrze zewnętrzne.

Przyczynę tego przypisałem niedbalstwu rzemieślników, którzy zrobili kulę może niedokładnie okrągłą. Powierzchnia płaska, gdziekolwiek się ona znajdowała, nie była w stanie wytrzymać ciśnienia otaczającego powietrza, gdy tymczasem kula, wykonana dokładnie, oparłaby mu się z łatwością, wskutek odpowiedności swych części, które nawzajem dopomagają sobie w stawianiu oporu.

Kula dokładnie okrągła nie zostaje zgnieciona.

Było więc rzeczą konieczną, aby rzemieślnik sporządził kulę dokładnie okrągłą; powietrze z niej również było wycią-

gane początkowo z łatwością, następnie z trudem. Dowodem tego, że kula była w zupełności opróżniona, była ta okoliczność, iż z górnej kłapy pompy powietrze przestało wreszcie wychodzić. W ten sposób po raz drugi otrzymano próżnię. Po otwarciu kurka *B*, powietrze z taką siłą wtargnęło do miedzianej kuli, jakby pociągnąć miało człowieka, znajdującego się przed kurkiem.

Powietrze
wchodzi z wiel-
ką łatwością.

Nawet przy dość znacznej odległości twarzy chwyciła dech; ręki również nie można było trzymać nad kurkiem bez narażenia się na niebezpieczeństwo, że zostanie ona siłą wciągnięta.

Chociaż zdawało się, że kula jest w zupełności opróżniona, jednak doświadczenie wykazało, że, pozostawiona jeden lub dwa dni w tym stanie, napełniała się znowu powietrzem, które wdzierało się zarówno przez tłok pompy, jak również przez klapę i kurek. Chodziło więc o to, aby i temu złu zapobiedz, co też w dalszym ciągu opisane zostanie.

ROZDZIAŁ XX.

O innych podobnych doświadczeniach, które wykazują ciśnienie atmosfery oraz granicę, do której działa obawa próżni.

Na podstawie poprzedniego doświadczenia można było poznać naocznie, iż natura dopuszcza istnienie próżni i że to, co zwanem było zazwyczaj obawą próżni, pochodzi z panującego tu na dole ciśnienia powietrza, (gdyż powietrze zewnętrzne wskutek swego ciężaru nie tylko wpędza wodę w miejsca, gdzie powstaje przestrzeń wolna, lecz również podnosi ją tak wysoko, dopóki nie znajdzie się ona w równowadze z powietrzem); nasunęły się więc dwa inne proste sposoby określenia ciężaru powietrza i sprowadzenia doń obawy próżni.

Sposób pierwszy.

Należy kazać zrobić z blachy mosiężnej rury, czyli kanały *ab*, *cd*, *ef*, *gh*, (fig. 13), długości czterech do pięciu łokci, grubości małego palca, któreby się dały w różny sposób łączyć i rozłączać, tworząc w ten sposób dłuższą lub krótszą rurę. Końce ich powinny być tak urządzone, aby jeden wchodził szczelnie w drugi, np. *d* w *a*, *f* w *c*, *h* w *e*. Połączenia te muszą być zarazem otoczone wodą, którą, aby przeszkodzić przenikaniu powietrza, wlewa się w naczynia *a*, *c*, *e*, *g*, mające kształt miseczek.

Następnie należy ze sobą połączyć trzy rury w jedną i ustawić je przy ścianie jakiegoś domu. Koniec dolnego kanału *ab* powinien posiadać w *b* mały kurek do otwierania i zamykania. Zaś górna część trzeciej i czwartej rurki powinna mieć zakończenie, dające się dokładnie połączyć z kurkiem *l* szklanego naczynia *ikl* tak, aby powietrze nie miało dostępu. (Naczynie *ikl*, wyobrażone na rysunku 5 fig. 13 jest długie na 2 łokcie lub więcej). Gdy już uprzednio pod wodą stwierdzonem zostanie, że rurki te nie przepuszczają najmniejszego pęcherzyka powietrza, łączy się ze sobą pierwsze trzy rurki *ab*, *cd*, *ef* i ustawia się je przy ścianie domu za pierwszym razem np. do wysokości 15 lub 16 łokci. Przytem dolny kurek powinien być zamknięty i zanurzony w naczyniu *mn*, napełnionem wodą. Następnie należy zarówno te rury, jak i wspomniane szklane naczynie *ikl* napełnić wodą i nasadzić je kurkiem *l* na górne zakończenie kanału *ef*. Jeśli następnie otworzymy oba kurki, to zobaczymy, że woda w naczyniu nie opada wcale. Przyczyną tego jest okoliczność, że, chociaż łączna wysokość kanałów i naczynia wynosi 17 lub 18 łokci, powietrze zewnętrzne jednak ciśnię silniej, niż słup wody wysokości 17 lub 18 łokci. Dlatego też nie może mieć miejsca opadanie. Jeśli jednak powtórzmy to doświadczenie i użyjemy doń jeszcze kanału *gh*, długości dwóch, trzech lub czterech łokci tak, że łączna długość kanału wraz ze szklanem naczyniem wyniesie 20, 21 lub nawet

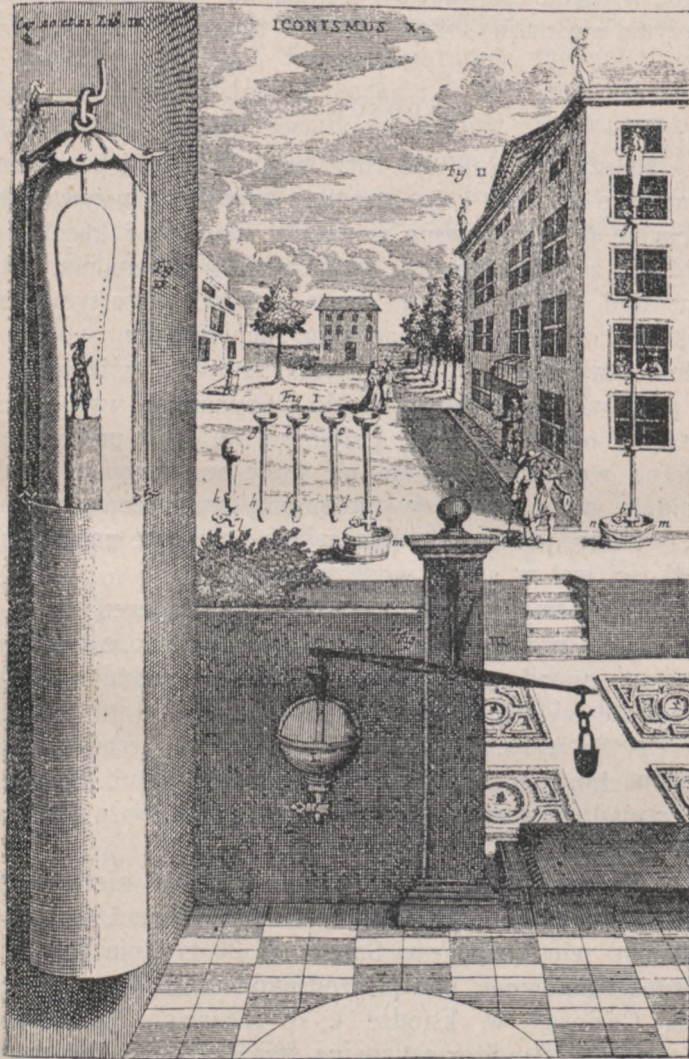


Fig. 13. Barometr wodny.

Woda pozostaje w równowadze z ciśnieniem słupa powietrza. 30 i więcej łokci, wówczas, jak zobaczymy, woda opuści kolbę szklaną, i poziom jej będzie się wahał wewnątrz kanału szklanego; wreszcie zauważymy jednak, że w swych wahaniach zatrzyma się na wysokości 18—19 łokci.

Sposób drugi.

Należy przygotować rury czyli kanały, jak poprzednio, i naczynie szklane, które chemicy zazwyczaj nazywają kolbą. Naczynie to, zaopatrzone w nasadę blaszaną i kurek, należy opróżnić z powietrza oraz połączyć w *g* z kanałem, ustawionym pod ścianą, (który swym dolnym otwartym końcem musi być zanurzony w naczyniu, napełnionem wodą). Jeśli potem otworzymy kurek naczynia, zauważymy, iż woda szybko podnosi się w kanale aż do wymienionej wysokości, wynoszącej około 19 łokci. Dzieje się to, gdyż powietrze zewnętrzne wywiera ciśnienie na wodę w naczyniu, woda zaś znajduje wolne ujście w opróżnionej przestrzeni i wznosi się tak wysoko, jak wysoko otaczające powietrze na skutek swej ciężkości jest w stanie wodę podnieść.

Rozważmy, co wynika z tych doświadczeń:

Woda nie może być przy pomocy lewara podniesiona ponad wys. 19 łokci.

1) Że przy pomocy lewara woda nie może być przeprowadzona ponad górą lub jakimś innym przedmiotem, którego wysokość wynosi więcej, niż 18 łokci.

Do jakiej wysokości może być podniesiona woda przy pomocy urządzeń ssących.

2) Że w rurach studni przy pomocy urządzeń ssących lub machin podnoszących, których kłapa lub tłok znajduje się ponad wysokością 18 łokci, woda nie może być podniesiona...

Również wiele innych rzeczy, dotąd niezrozumiałych, można wyjaśnić zapomocą tych doświadczeń. Zakomunikowałem o tem Caspar'owi Schott'owi 30 grudnia 1661 r. w odpowiedzi listownej, którą przedrukował on w swojej „Technica Curiosa“ w księdze I. o „Dziwach Magdeburgskich“ w rozdziale 21. Słowa listu na str. 52 brzmią jak następuje:

„Aby w każdym czasie módz dostrzegać ciśnienie powietrza, posługiwałem się osobliwem urządzeniem: umieściłem mianowicie drobną figurkę rzeźbioną w drzewie w kształt

człowieka, która podnosiła się i opuszczała wewnątrz rurki szklanej i palcem wskazywała punkt, odpowiadający panującemu w danej chwili ciśnieniu powietrza. Urządzenie zaś, znajdujące się w dolnej części rurki szklanej, przykryte jest, aby widzowie nie mogli dojść do poznania tajemnicy. Szkło zakryte jest bowiem dokoła blachą i dobrze ochronione, aby wszystkie połączenia pozostały niezmiennie i całość nie była łamliwa. Urządzenie to nazywam „Semper vivum“; może ono też słusznie być nazwane „Perpetuum mobile“, chociaż nie porusza się ciągle, lecz tylko odpowiednio do zmian powietrza w rozległym obszarze tegoż.

ROZDZIAŁ XXIII.

Doświadczenie, które wykazuje, że wskutek ciśnienia powietrza dwie półkule zostają tak mocno połączone, że nie mogą być od siebie oderwane siłą 16 koni.

Kazałem wykonać dwie miedziane półkule, czyli miski *A* i *B* (fig. 14) około $\frac{3}{4}$, dokładniej $\frac{67}{100}$ łokcia magdeburskiego średnicy. Były one szczelnie do siebie dopasowane, i jedna z nich zaopatrzona była w kurek czyli raczej klapę *H*, przy pomocy której powietrze, znajdujące się wewnątrz niej miało być wyciągnięte, i która broniła dostępu powietrza zewnętrznemu, jak to pokazuje rysunek IV. Półkule prócz tego opatrzone są żelaznymi kółkami *NNNN*, aby mogły być do nich zaprzężone konie, jak widać na rysunku. Prócz tego kazałem uszyć ze skóry krążek *D*, który był dobrze przepojony woskiem z terpentyną, aby nie przepuszczał powietrza.

Półkule te nałożyłem jedną na drugą, przedzielając je krążkiem; powietrze następnie zostało szybko z nich wypompowane. Widziałem, z jaką siłą zostały połączone półkule, pomiędzy którymi znajdował się ów krążek. Ciśnieniem po-



Fig. 14. Doświadczenie z półkulami Magdeburskimi.

wietrza zewnętrznego ściśnięte, były one złączone tak mocno, że 16 koni nie mogło ich wcale rozerwać, lub z wielkim tylko trudem. Jeśli jednak ostatecznie, po wielkim wysiłku, udało się je rozerwać, wywoływało to huk, podobny do wystrzału armaty.

Skoro jednak po otwarciu kurka *H* powietrza dany był dostęp, mogły być one rozdzielone czyli rozerwane siłą samych rąk. Aby jednak dokładnie się dowiedzieć, jak wielkim jest ciężar, który ściska tak gwałtownie pólkule, należy na podstawie rozdziału poprzedniego określić ciężar słupa powietrza, którego średnica równa jest $\frac{67}{100}$ łokcia magdeburskiego...

Po wejściu powietrza pólkule mogą być oddzielone z łatwością.

ROZDZIAŁ XXXIV.

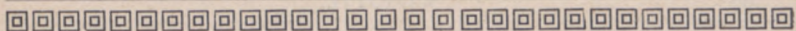
Dowód istnienia próżni przez opuszczanie się rtęci w rurce szklanej, u góry zamkniętej.

Gdy na sejmie w Regensburgu (w r. 1654) pokazywałem niektóre moje doświadczenia kurfürstom, książętom i posłom, zapoznałem się przy tej sposobności z wielebnym Ojcem Kapucynem Valerianem Magnusem. Pokazał mi on pewne doświadczenie, dowodzące istnienia próżni, twierdząc, że wynalezionem zostało przez niego i od niego pochodzi. Rzecz się miała jak następuje: 1) Wziął on rurkę szklaną długości przeszło $\frac{6}{4}$ łokcia magdeburskiego, dobrze zamkniętą z jednego końca. 2) Napełnił tę rurkę rtęcią, przewrócił ją (szczelnie zatykając palcem otwór, aby nic nie wypłynęło) i zanurzył ją wraz z palcem zamykającym w kubku napełnionym rtęcią. 3) Wreszcie odjął stopniowo palec, i oto rtęć opadała powoli, aż dosięgła pewnego określonego poziomu w rurce, mianowicie wysokości $\frac{5}{4}$ tegoż łokcia. Tu się zatrzymała i nie opadała już więcej, o ile palca nie odejmowano gwałtownie. W tym ostatnim przypadku poziom rtęci wahał się, to podnosząc się, to opadając, dopóki się nie zatrzymał na tem samym miejscu.

Doświadczenie Ojca Waleryana Magnusa, wykazujące istnienie próżni za pomocą opuszczania się rtęci.

Wielebny Ojciec Waleryan nauczał przytem, że przestrzeń w górnej części rurki, opuszczonej przez rtęć, była próżna, t. j. wolna od wszelkiego rodzaju materji. Gdyż wykluczonem jest, aby jakieś inne ciało mogło zająć miejsce rtęci w czasie jej opadania. Dał mi również swoją książkę, noszącą tytuł: „Dowód oczywisty 1) Przestrzeni bez czegokolwiek w niej zawartego, 2) Ciała stopniowo poruszanego w próżni, 3) Światła, niezwiązanego z żadnem ciałem“.

Dowiedziałem się jednak zarówno z tej książki, jak następnie z dzieł innych autorów, że doświadczenie to wykonane zostało po raz pierwszy przez sławnego Ewangelistę Torricellego, matematyka wielkiego księcia Toskańskiego.



M A R I O T T E.

(1620—1684).

Edme Mariotte urodził się w Burgundyi. Od wczesnej młodości obrał on sobie zawód duchownego i był przeorem w małym miasteczku w pobliżu Dijon. Zajmował się obok tego badaniami naukowemi, dotyczącemi różnych dziedzin fizyki. Był on jednym z założycieli Paryskiej Akademii Umiejętności. Prace Galileusza i Torricellego pobudziły go do doświadczeń fizycznych, które go doprowadziły w r. 1679 do wykrycia znanego prawa, dotyczącego stosunku pomiędzy objętością gazów a ciśnieniem. Prawo to było już w r. 1662, a więc o 17 lat wcześniej, wykryte przez Boyle'a¹⁾. Mariotte jednak wykrył je niezależnie od Boyle'a i sformułował dokładniej. Znane jest ono, jako prawo Boyle-Mariotte'a. Dzieła Mariotte'a wydane zostały w r. 1717 w 2 tomach w Leydzie. Prawo Mariotte'a zawarte jest w rozprawie „De la Nature de l'air“, wydanej w roku 1679.

„Rozprawa o własnościach powietrza“ *).

Zgęszczanie się powietrza odbywa się proporcjonalnie do ciężarów, którymi jest ono obciążone²⁾).

Pierwszem pytaniem, które można sobie co do tego postawić, jest kwestya, czy powietrze zagęszcza się dokładnie proporcjonalnie do ciężarów, którymi jest ono obciążane, czy też to zagęszczanie się podlega innym prawom i innym stosunkom. Oto rozumowania, któremi się posługiwałem, aby rozstrzygnąć, czy zagęszczanie powietrza odbywa się proporcjonalnie do ciężarów, które je gniotą.

Jeśli przypuścimy, jak na to wskazuje doświadczenie, iż powietrze zagęszcza się bardziej, gdy jest obciążone przez większy ciężar, z koniecznością stąd wyniknie, iż jeśliby powietrze, które rozciąga się od powierzchni ziemi aż do największej wysokości, gdzie się kończy, stało się lżejszem, to dolna część jego rozprężyłaby się więcej, niż obecnie, gdyby zaś stało się ono bardziej ciężkie, ta sama część zagęściłaby się bardziej. Stąd wywnioskować należy, iż gęstość, którą posiada ono w pobliżu ziemi, znajduje się w określonym stosunku do ciężaru powietrza, znajdującego się nad niem i uciskającego je, że w tym stanie równoważy ono swą

*) „Discours de la nature de l'air“, Leyde 1717. Wyjątki tu podane przetłómaczone są z książki Henri Coupin'a „Lectures scientifiques sur la Physique“, Paryż, Colin r. 1911.

sprężystością dokładnie całkowity ciężar powietrza, które podtrzymuje.

Wynika stąd, że jeżeli zamkniemy w barometrze rtęć z powietrzem i zrobimy doświadczenie z próżnią, rtęć nie pozostanie w rurce na zwykłej wysokości: gdyż powietrze, które jest w niej zamknięte przed doświadczeniem, sprężystością swoją równoważyło ciężar całej atmosfery, to znaczy słupa powietrza tej samej grubości, sięgającego od powierzchni rtęci w naczyniu aż do końca atmosfery; rtęć więc w rurce, nie znajdując nic, coby ją równoważyło, opadnie. Nie spadnie ona jednak całkowicie; gdyż, podczas jej opadania, powietrze zamknięte w rurce rozszerza się, i wskutek tego sprężystość jego już nie wystarcza, aby zrównoważyć całkowity ciężar górnego powietrza. Trzeba więc, aby część rtęci pozostała w rurce na takiej wysokości, aby zrównoważyła resztę atmosfery, gdyż powietrze, zamknięte w rurce, wskutek swej gęstości ma siłę sprężystości odpowiednią do utrzymania tylko części ciężaru atmosfery; i wtedy nastąpi równowaga pomiędzy ciężarem całego tego słupa powietrza i ciężarem tej pozostałej rtęci, łącznie z siłą sprężystości zamkniętego powietrza. Więc jeśli powietrze zgęszcza się proporcjonalnie do ciężarów, którymi jest obciążone, w doświadczeniu zaś rtęć znajduje się w rurce na wysokości 14 cali, musi być koniecznie powietrze zamknięte w rurce rozprężone dwa razy więcej, niż przed doświadczeniem, jeśli w tym samym czasie barometry bez powietrza podnoszą rtęć dokładnie na 28 cali.

Aby przekonać się, czy wniosek ten jest słuszny, wykonałem doświadczenia z p. Hubin, który jest bardzo doświadczony w sporządzaniu barometrów i termometrów różnego rodzaju. Posługiwaliśmy się rurką długą na 40 cali (fig. 15), którą kazałem napełnić rtęcią do 27 i pół cala, tak, aby zostało tam 12 i pół cala powietrza i tak, aby po zanurzeniu rurki na jeden cal, pozostało jeszcze 39 cali, zawierających 14 cali rtęci i 25 cali powietrza, rozszerzonego w dwójnasób. Oczekiwania moje bynajmniej mnie nie zawiodły: skoro tylko koniec odwróconej rurki pograżony został

w rtęci naczynia, rtęć w rurce obniżyła się i po kilku wahaniciach zatrzymała się na wysokości 14 cali; zamknięte więc powietrze, które zajmowało teraz 25 cali, rozszerzyło się wdwójnasób w porównaniu z tem, które było zamknięte i które zajmowało tylko 12 i pół cala.

Poleciłem p. Hubin wykonanie jeszcze drugiego doświadczenia, przy którym pozostawiliśmy 24 cale powietrza ponad rtęcią, która opadła, zgodnie z hipotezą, do 7 cali; gdyż siedm cali rtęci równoważy jedną czwartą ciężaru całej atmosfery, pozostałe zaś trzy czwarte były podtrzymywane przez sprężystość zamkniętego powietrza, którego objętość wynosiła 32 cale; była ona w tym samym stosunku do objętości pierwotnej równej 24 calom, jak ciężar całkowity powietrza do trzech czwartych tego ciężaru.

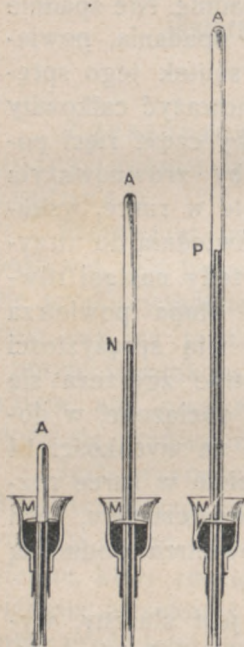


Fig. 15.

Rurka Mariotte'a.

Poleciłem mu, aby wykonał jeszcze kilka podobnych doświadczeń, pozostawiając więcej lub mniej powietrza w tej samej rurce lub też w innych rurkach większych lub mniejszych, i znajdowałem zawsze po wykonaniu doświadczenia, że stosunek powietrza rozprężonego do objętości powietrza, które pozostawiono ponad rtęcią na początku doświadczenia, był ten sam, co stosunek 28 cali rtęci, równych ciężarowi całej atmosfery, do różnicy pomiędzy 28 calami a wysokością rtęci przy końcu doświadczenia: dowodzi to w zupełności, iż można przyjąć za prawo pewne

czyli prawo natury to, iż powietrze zgęszcza się proporcjonalnie do ciężarów, którymi jest obciążone.

Chcąc wykonywać doświadczenia bardziej dokładne, trzeba mieć rurkę zagiętą, której dwa ramiona są względem siebie

równoległe, i jedno z nich jest długie na 8 stóp w przybliżeniu, drugie zaś — na 20 cali; większe ramię powinno być u góry otwarte, zaś mniejsze — zatopione dokładnie.

Trzeba najpierw nalać trochę rtęci, aby zapełnić dno, przez które oba ramiona się komunikują, i należy postarać się, aby rtęć nie stała wyżej w jednym naczyniu, niż w drugim, aby powietrze zamknięte nie było bardziej rozszerzone lub ściśnięte, niż powietrze wolne.

Następnie należy dolewać powoli rtęć do rurki, uważając, aby przy wstrząśnieniu nie weszło nowe powietrze do tego, które jest zamknięte; i okaże się, jak to miałem parę razy sposobność widzieć, że kiedy rtęć w małym ramieniu stoi na wysokości czterech cali, to w drugim rtęć będzie miała poziom o 14 cali wyższy, t. j. 18 cali ponad rurką łączącą; co też powinno mieć miejsce, jeśli powietrze zagęszcza się proporcjonalnie do ciężarów, którymi jest obciążone, gdyż powietrze zamknięte jest wówczas obciążone ciężarem atmosfery, który jest równy ciężarowi 28 cali rtęci z dodatkiem 14 cali, których suma równa 42 calom ma się do 28 cali, t. j. pierwszego ciężaru, który utrzymywał powietrze w objętości 12 cali w małym ramieniu, odwrotnie, jak objętość 12 cali ma się do objętości pozostałych 8 cali.

Przy ponownem dolaniu rtęci tak, by się ona podniosła na wysokość 6 cali w małej rurce, i tak, że zostanie tylko 6 cali powietrza, poziom rtęci w drugim ramieniu będzie o 28 cali wyższy od poziomu tych 6 cali, co też powinno zachodzić zgodnie z tą hipotezą: gdyż wówczas powietrze zamknięte będzie obciążone 28 calami rtęci oraz ciężarem atmosfery, który wart jest drugie tyle; suma więc ich 56 jest podwojeniem liczby 28 tak, jak pierwsza objętość 12 cali powietrza jest dwa razy większa od pozostałych 6 cali; i jeśli przy dalszem nalewaniu rtęci do dużego ramienia wzniesie się ona w małym ramieniu na wysokość 8 cali, to poziom jej w dużym ramieniu będzie o 56 cali wyższy, co daje znowu tę samą proporcję...

Do wykonywania tych doświadczeń niezbędnem jest, aby małe ramię miało wszędzie tę samą szerokość; co zaś

dotyczy dużego, to nie jest koniecznem, aby szerokość jego na całej wysokości była równa.

Przy pomocy tego prawa natury można rozstrzygnąć kilka dość ciekawych zagadnień fizycznych.

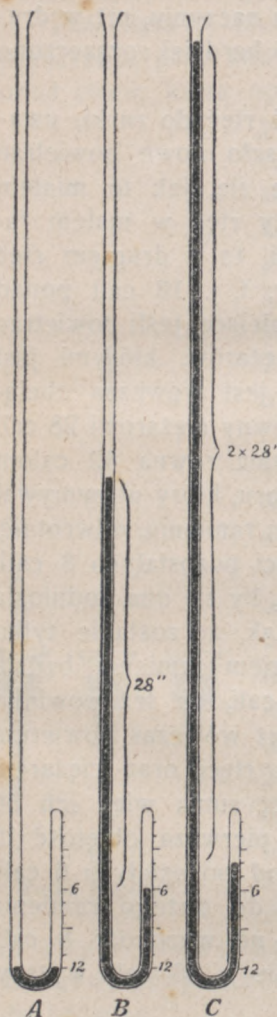


Fig. 16.

Doświadczenie Boyle'a.

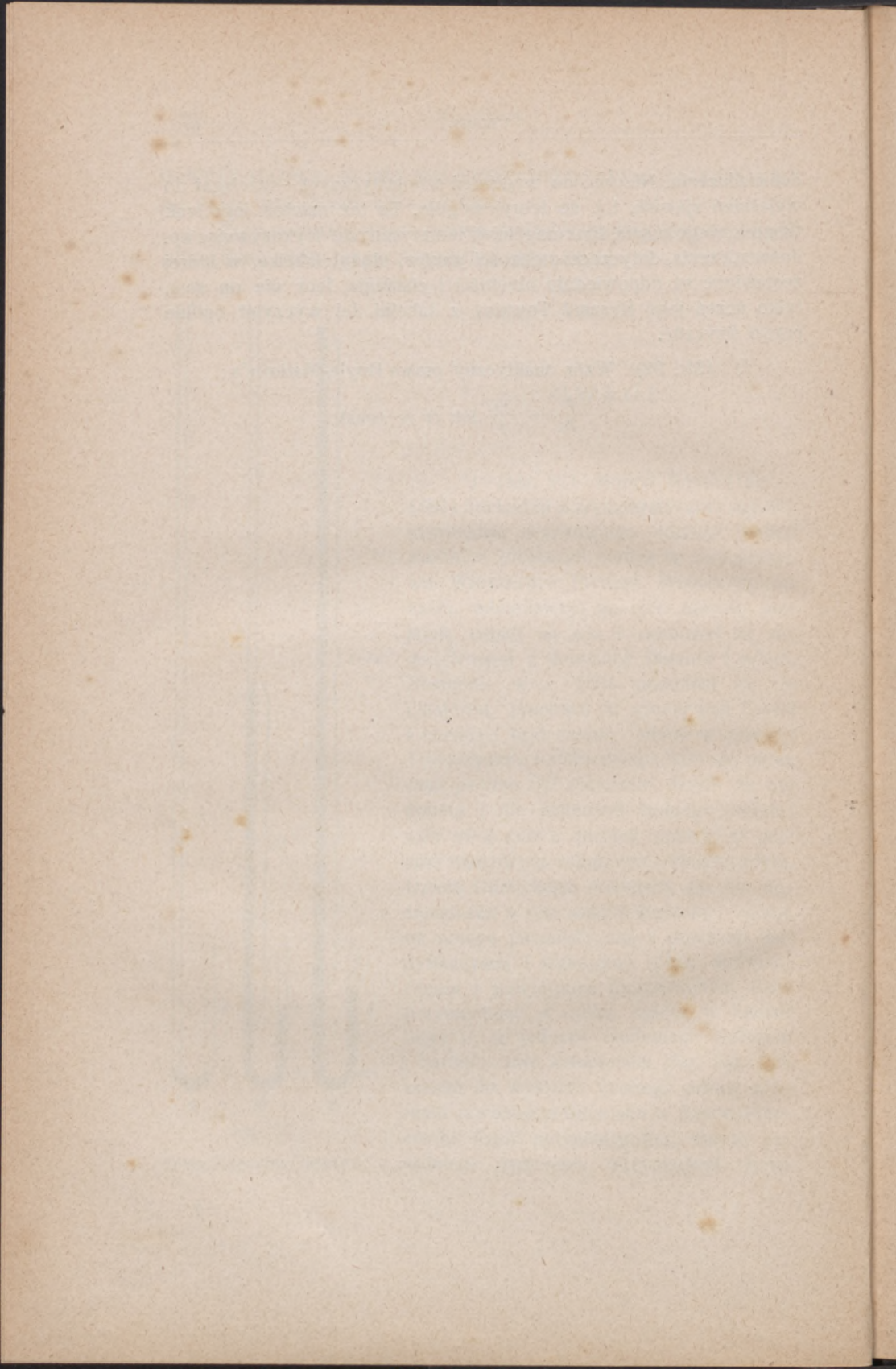
UWAGI.

¹⁾ (Str. 91) Robert Boyle (1627—1691) pochodził z arystokratycznej rodziny irlandzkiej; wychowanie odebrał bardzo staranne, prowadził studia w Szwajcaryi, we Włoszech i Francyi. Wróciwszy do kraju, odziedziczył po ojcu znaczny majątek, osiadł na wsi i zajmował się zagadnieniami z dziedziny filozofii i religii. Następnie w r. 1684 przeniósł się do Oksfordu, pracował tu więcej nad fizyką i chemią i brał czynny udział w pracach Towarzystwa Królewskiego, którego przez czas pewien był prezesem. Boyle nie był żonaty i nie zajmował żadnego urzędu; cały swój czas i majątek poświęcał pracom naukowym, religijnym i filozoficznym. Dzieła Guerickego pobudziły go do doświadczeń w tym samym kierunku; buduje on pompę pneumatyczną z pewnemi modyfikacyami i wykonywa różne doświadczenia z powietrzem rozrzedzonym. Eksperymentując z rurką zgiętą w kształt litery U, z jednym ramieniem krótszem i hermetycznie zatopionem (fig. 16), dochodzi do wykrycia znanego prawa, któremu zawdzięcza nazwisko w fizyce. Przeciwnik fizyki perypatetycznej, Boyle zasadnicze znaczenie przypisywał tylko

doświadczeniu. Niechęć do wyjaśnień scholastycznych—rozcigał do wyjaśnień zjawisk, t. j. do teorii wogóle. To też dziełom jego brak filozoficznego ujęcia, brak uogólnień teoretycznych. Wykonywując np. doświadczenia, dotyczące prężności gazów, ułożył tabelkę, w której zestawione są odpowiednio objętości i ciśnienia, lecz nie on sam, tylko uczeń jego Ryszard Townley z tabelki tej wyczytał ogólne prawo fizyczne.

²⁾ (Str. 92) Wzór analityczny prawa Boyle-Mariotte'a:

$$\frac{p}{p_0} = \frac{v_0}{v} \text{ lub } pv = \text{const.}$$

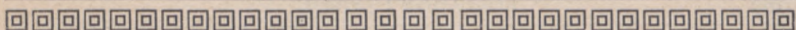


AKUSTYKA.

OPRACOWAŁ DR. W. WERNER.

AMSTERDAM

OPACITATEA SI UNIFORMITATEA



PRĘDKOŚĆ GŁOSU.

Wymierzenie prędkości rozchodzenia się głosu stało się dla fizyki sprawą doniosłą od chwili, kiedy Newton dał teorię tego zjawiska, opartą na własnościach sprężystych powietrza. Chodzi o doświadczalne sprawdzenie słuszności wniosków, do jakich doszła teoria. To też już w w. XVII. Mersenne, a z drugiej strony fizycy florenccy mierzyli tę wielkość; za nimi liczni fizycy powtarzali te pomiary. W r. 1738 Akademia Francuska powierzyła zbadanie sprawy kilku swoim członkom; pomiarów dokonano, obserwując czas pomiędzy dostrzeżeniem błysku i huku strzału armatniego, danego na drugiej stacyi, odległej o 22 km. Pomiary dały wartość 332,93 m/sec. W 80 lat później, w r. 1822, inna komisya Akademii, w skład której wchodzili między innymi Arago, Gay Lussac i Humboldt, powtórzyła te badania; aby uniknąć wpływu wiatru, dawano strzały jednocześnie z obu stacyi, poczem obliczano wartość średnią (otrzymano 331,05 m/sec.). Tą samą metodą starannie wykonane w r. 1823 doświadczenia fizyków holenderskich Molle'a i Van Beck'a dały jako wynik 332,05 m/sec. i pouczyły zarazem, że stosowana metoda nie usuwa w zupełności wpływu wiatru. Chcąc znaleźć szybkość głosu dla powietrza zupełnie spokojnego, Regnault w r. 1868 mierzył tę wielkość w rurach wodociągowych; nadejście fali notowane było elektrycznie przez wytworzenie kontaktu wskutek ruchu błony, zamykającej wylot rury. Pomiary Regnault'a, najdokładniejsze z dokonywanych metodą bezpośrednią, dały jako wynik 330,7 m/sec. (Wszystkie te dane dotyczą powietrza pod ciśnieniem normalnem i w temperaturze 0°). Metodę pośrednią wskazał Kundt: mierzył on długość fal stojących, jakie powstają w rurze—pod wpływem drgań podłużnych pręta metalowego, jednym końcem wsuniętego w rurę; znając ilość drgań pręta i długość fali stojącej, obliczał szybkość rozchodzenia się ruchu falowego (ob. str. 114 uw.

4). Wüllner zbadął tą metodą szybkość głosu w powietrzu (331,5 m/sek.) oraz w szeregu innych gazów. Badania te są ważne, gdyż dają możliwość obliczenia stosunku ciepła właściwego pod stałym ciśnieniem do ciepła właściwego w stałej objętości (ob. str. 105).

Pomiaru prędkości głosu w wodzie dokonał uczony genewski Colladon; badania te stanowią część tylko obszernej pracy, jaką ogłosił razem ze znakomitym matematykiem Sturm'em nad ściślnością cieczy. Za tę pracę przyznano autorom nagrodę, wyznaczoną w r. 1826 przez Paryską Akademię Nauk.

O ściśliwości cieczy

przez pp. Colladon'a i Sturm'a z Genewy *).

Autorowie przedsięwzięli obszerne i bardzo ściśle badania nad ściśliwością cieczy, w szczególności wody. Ponieważ teoria rozchodzenia się głosu (ob. niżej) wykazuje ścisły związek pomiędzy szybkością głosu, a ściśliwością ośrodka, przeto autorowie kończą swą rozprawę opisem doświadczenia, wykonanego w celu określenia szybkości głosu w wodzie i porównania w ten sposób teorii z doświadczeniem.

Szybkość głosu w cieczech.

Oddawna wiadomo, że głos rozchodzi się w ciałach stałych i ciekłych tak samo, jak w powietrzu i ciałach gazowych. Znajomość stopnia ściśliwości wody lub jakiegokolwiek innej cieczy pozwala na określenie szybkości, z jaką się głos w tych ciałach rozchodzi. Pp. Young i Laplace wskazali na to ważne zastosowanie. Dali oni wzór, na podstawie którego można obliczyć szybkość głosu w nieograniczonej masie cieczy, jeśli jest wiadomy stopień kurczenia się tej cieczy pod wpływem danego przyrostu ciśnienia. Z tego samego wzoru można obliczyć szybkość głosu

*) „Sur la compression des Liquides“, Annales de Chimie et de Physique. Tom 36 z r. 1827.

w ciałach stałych, jeśli jest znane zmniejszenie ich objętości pod znanym ciśnieniem. P. Poisson traktował to zagadnienie w uczonej rozprawie, pomieszczonej w *Mémoires de l'Institut* z r. 1819. Podano tam dowód szczegółowy wspomnianego wzoru.

Ponieważ teoria jest zupełnie wyczerpująca, przeto pozostaje tylko porównać ją z doświadczeniem, w celu potwierdzenia pierwszej przez drugie, lub też w celu wykrycia różnic, jakieby mogły zachodzić pomiędzy nimi. Przedsięwzięliśmy więc szereg doświadczeń nad szybkością głosu w wodzie, jedynej cieczy, która nadaje się do takich doświadczeń, z zamiarem porównania zaobserwowanych szybkości ze wzorem teoretycznym, który ma ją przedstawiać.

Poniżej znajdzie czytelnik obszerny opis metody naszych doświadczeń oraz osiągnięte przez nas wyniki. Wydaje nam się jednak rzeczą słuszną przypomnieć przedtem pokrótce główne punkty teoryi głosu, a w szczególności wzór, służący do obliczania szybkości głosu w ciałach stałych i ciekłych.

Jak wiadomo, Newton pierwszy zbadał prawa rozchodzenia się głosu w atmosferze. Wyobraża on sobie nieograniczoną linię cząsteczek powietrza i zakłada, że drobny odcinek tej linii doznaje wstrząśnienia początkowego; wykazuje, że to wstrząśnienie przenosi się kolejno na wszystkie warstwy słupa powietrza w taki sam sposób, w jaki przenosi się ruch wzdłuż szeregu sprężystych kul bilardowych; następnie określa czas potrzebny do tego, aby wstrząśnienie, wywołujące wrażenie głosu, dosięgło miejsc, dowolnie oddalonych od swego źródła. Newton dochodzi do wniosku, że rozchodzenie się głosu jest jednostajne, a szybkość czyli przestrzeń, przebyta przez głos w przeciągu sekundy, jeśli kierunek rozchodzenia się jest poziomy, ma następującą wartość: pierwiastek kwadratowy z podwójnego iloczynu wysokości, jaką przebywa ciało pod wpływem ciężkości w ciągu pierwszej sekundy, przez wysokość słupa powietrza, któryby utrzymywał w równowadze słup rtęci w barometrze i miał wszędzie gęstość taką samą, jak u podstawy słupa¹⁾.

Lagrange, Euler, Laplace i Poisson wyprowadzili ten sam wzór dla szybkości głosu z równań różniczkowych o pochodnej cząstkowej, przedstawiających ruch powietrza zarówno w słupie cylindrycznym nieskończonej długości, jak i w masie nieograniczonej. Rozszerzywszy swe badania na wypadek rozchodzenia się głosu w dwóch lub trzech wymiarach, przekonali się oni, że, choć natężenie głosu zmniejsza się w miarę wzrastania odległości, to jednak szybkość jego jest taka sama, jak w wypadku rozchodzenia się głosu w jednym wymiarze...

Jednakże szybkość, wyprowadzona z teorii, odbiegała wyraźnie od szybkości, obserwowanej przy doświadczeniach. Wszyscy fizycy, których wielu tę szybkość mierzyło, otrzymują dla niej zgodnie wartości większe, niż szybkość obliczona i to większe o tyle, że różnica dosięga $\frac{1}{6}$ wartości obserwowanej.

Zbytecznym byłoby przytaczanie wszystkich hipotez, postawionych w celu pogodzenia na tym punkcie obliczeń z obserwacją.

Prawdziwe objaśnienie tej różnicy zawdzięczamy p. Laplace'owi. Należy ją przypisać wzrostowi sprężystości cząsteczek powietrza, wywołanemu przez ciepło, wytworzone wskutek ściśnięcia cząsteczek... P. Poisson wykazał, że jeśli ściśnięcie lub rozszerzenie wynosi $\frac{1}{116}$, to temperatura musi się podnieść lub opaść o 1° skali stustopniowej. Wreszcie Laplace doszedł do twierdzenia, które co do pewności tłumaczenia nic do życzenia nie pozostawia. Wykazał on, że szybkość głosu równa się wartości, danej przez wzór Newton'a, pomnożonej przez pierwiastek kwadratowy ze stosunku ciepła właściwego pod stałym ciśnieniem do ciepła właściwego w stałej objętości. Ten stosunek jest liczbą, większą od jedności. Dla określenia go skorzystał Laplace z wyników badań pp. Gay Lussac'a i Welter'a. Tak zmieniiony wzór zgadza się dość blisko z szybkością rzeczywistą, znaną przez doświadczenie²⁾.

Obliczenie szybkości głosu i praw jego rozchodzenia się w ciałach ciekłych i stałych jest prawie takie same, jak

w przypadku powietrza. Dla naszych celów wystarczy przytoczenie wzoru, przedstawiającego szybkość głosu w cieczach. Aby ułatwić stosowanie tego wzoru, podajemy go w postaci algebrycznej, jaką mu nadał p. Poisson w swej rozprawie.

Niechaj D oznacza gęstość cieczy, k długość słupa cylindrycznego tej cieczy pod znanem ciśnieniem, ε małe skrócenie się tego słupa przy danym wzroście ciśnienia P . Jeśli przez a oznaczymy szybkość głosu w tej cieczy, to będzie się ona wyrażała wzorem następującym:

$$a = \sqrt{\frac{P \cdot k}{D \cdot \varepsilon}} \quad ^3)$$

Sprawdzenie tego wzoru dla ciał stałych i ciekłych wymaga doświadczeń bardzo dokładnych. Ziemia nie przedstawia dla takich doświadczeń mas stałych dostatecznie ciągłych i jednolitych, tak że nie wydaje się rzeczą prawdopodobną, aby się udało kiedykolwiek sprawdzić wartość obliczoną szybkości głosu w ciałach stałych zapomocą doświadczeń na dużej skale⁴⁾. Wprawdzie doświadczenia p. Biot'a, dotyczące szybkości rozchodzenia się głosu w rurach żelaznych⁵⁾, pouczyły nas, że szybkość w tych rurach jest napewno znacznie większa, niż w powietrzu; ale ponieważ głos dochodził go rychlej, niż w przeciągu pół sekundy, to doświadczenia te mogły dać tylko wyniki bardzo niepewne, nie nadające się do sprawdzenia wzoru. Wydaje się nam, że woda jest jedynem ciałem, w którym można dokonywać takich doświadczeń z dostateczną dokładnością. Że woda przenosi głos na wielkie odległości, o tem już wiemy. Franklin zapewnia, że odgłos, wywołany uderzeniem o siebie dwóch kamyków, daje się jeszcze słyszeć przeszło o pół mili; zdaje się jednak, że o zmierzeniu szybkości nie pomyślał.

Jedyne doświadczenie, jakiego dotąd dokonano nad szybkością głosu w ciałach ciekłych, zawdzięczamy p. Beudant; zostało ono wykonane przed paru laty w wodzie morskiej

pod Marsylią. Oto są szczegóły doświadczenia, udzielone nam łaskawie przez tego uczonego. Obaj obserwatorzy znajdowali się w znanej odległości od siebie i byli zaopatrzeni w wyregulowane zegarki. W chwili umówionej ten, który miał wzbudzać głos, dawał znak chorągiewką i jednocześnie uderzał w umieszczony pod wodą dzwon. Obserwator na drugiej stacyi miał pomocnika, który płynął tuż koło łodzi i dawał znak, gdy usłyszał głos. Stąd znajdowano czas, jakiego głos potrzebował na przebycie drogi pomiędzy obu stacyami. Ten pomiar nie był jednak bardzo dokładny, gdyż osoba, znajdująca się pod wodą, nie mogła dać znaku w tej samej chwili, w której usłyszała głos. P. Beudant wyliczył ze swych doświadczeń, że szybkość głosu w wodzie morskiej musi wynosić 1500 metrów na sekundę; wynik ten uważa jednak tylko za wartość średnią, gdyż rozmaite doświadczenia dawały znaczne odchylenia.

Ta wartość średnia nie różni się zapewne bardzo od szybkości rzeczywistej, zdaje się też, że się dość zgadza z teorią. Aby jednak móż przeprowadzić porównanie z zupełną pewnością, należy mieć koniecznie pomiar zupełnie dokładny, a przytem należy z całą ścisłością określić gęstość i ściśliwość cieczy w tej samej temperaturze, w jakiej dokonano doświadczenia. Uważaliśmy przeto za konieczne powtórzenie tych pomiarów starannie i na dużą skalę, a za nadającą się do tego uznaliśmy wodę jeziora, chcąc otrzymać bezpośrednio szybkość w wodzie czystej.

Jeden z nas, p. Colladon, dokonał z tej racyi w końcu roku 1826 na jeziorze Genewskim szeregu doświadczeń przy dużych odległościach i w ten sposób określił niezmierną dotąd przez nikogo szybkość głosu w wodzie czystej.

Doświadczenia początkowe miały na celu tylko wyznaczenie najpewniejszego i najwygodniejszego sposobu wydobywania głosu, który mógłby być słyszany na dużą odległość. Z początku doprowadzałem do wybuchu pod wodą różne rodzaje prochu albo uderzałem w rozmaite ciała metalowe, jak dzwonki, kowadła lub dzwony. — Ostatni sposób okazał się najlepszym, — nie tylko z tego powodu, że był

łatwy i natychmiastowy, ale i z powodu natężenia głosu. — Dzwon, którego używałem do tych doświadczeń, miał około 7 dm. wysokości i nieco mniejszą średnicę. Wisiał on na belce poza łódką, około metra pod powierzchnią wody (rys. 17). Na tej samej belce była umocowana dźwignia *nm*, której ramię górne znajdowało się w łódce, zaś dolne —

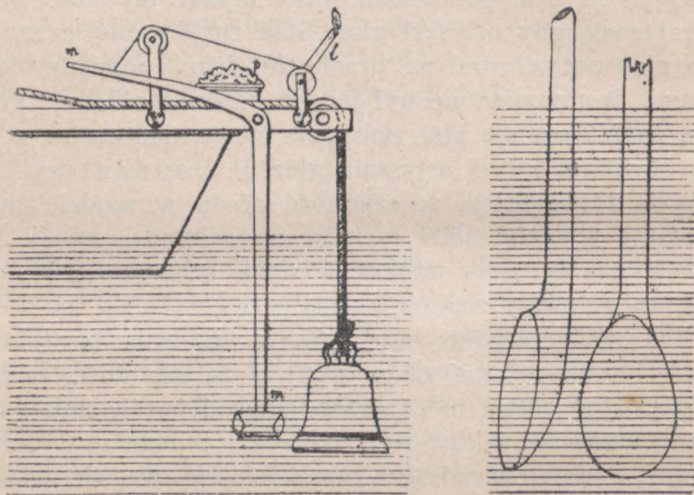


Fig. 17.

Przyrządy sygnałowe Colladon'a i Sturm'a.

w wodzie i tam służyło do uderzania w dzwon. W ten sposób, pomimo oporu cieczy, mogłem udzielić dzwonowi silnego uderzenia.

Wszystkie te doświadczenia były wykonywane w nocy: nie tylko dlatego, aby żadne obce hałasy nie przeszkadzały obserwacji, ale głównie dlatego, aby mózg ściśle obserwować sygnały, które dawano zapomocą rakiet lub spalania prochu strzelniczego. Początkowo próbowałem usłyszeć głos dzwonu, zanurzając głowę do wody, ale ta metoda była niewygodna i niezbyt dokładna; wynalazłem następnie inny sposób, pewny i łatwy, który nadto pozwalał wzmacniać do woli natężenie głosu. Ta metoda opiera się na następującem rozważaniu.

Jeśli wydobywać dźwięki z ciała, które znajduje się w spokojnej wodzie nieco pod jej powierzchnią, to osoba, znajdująca się ponad wodą i w małej odległości, będzie słyszała bardzo wyraźnie głos, wydawany przez ciało zanurzone w wodzie. Ale, posuwając się wzdłuż powierzchni wody, zauważy, że natężenie głosu zmniejsza się bardzo szybko, a w odległości 200 do 300 m. nie będzie słyszała wogóle żadnego głosu zewnątrz wody, nawet umieszczając ucho bardzo blisko jej powierzchni. Jeśli jednak osoba ta zanurzy głowę w wodę w tej samej, albo i w znacznie większej odległości, to natychmiast usłyszy głos zupełnie wyraźnie.

Zdaje się więc, że promienie głosowe, trafiając powierzchnię wody pod kątem bardzo ostrym, nie przechodzą do powietrza, lecz podlegają pewnego rodzaju odbiciu do wnętrza ciekłej masy. Pomyślałem więc, że jeśli przeciąć tę masę płaszczyzną pionową, to falowanie będzie musiało przejść poza tę płaszczyznę i że, jeżeli poza nią będzie się znajdowało powietrze, to głos będzie się mu udzielał i będzie zatem słyszany w powietrzu otaczającym.

Aby urzeczywistnić ten pomysł, wziąłem rurę cylindryczną z cienkiej blachy, długości 3 m. i około 2 dm. grubości. Zamknąłem ten jej koniec, który miał być zanurzony w wodzie. Do tego końca był przymocowany mocny pierścień, na którym zawieszano ciężary, potrzebne do tego, aby rura mogła pływać pionowo tak, aby jej górny otwarty koniec, do którego się przykładano ucho, wystawał tylko około 5 do 6 dm. ponad powierzchnię wody *).

Przy pierwszych doświadczeniach byłem oddalony mniej więcej o 2000 m. od dzwonu. Gdy dałem sygnał do uderzenia w dzwon, usłyszałem natychmiast w rurze zupełnie wyraźnie głos każdego uderzenia, a głos ten był tak silny, że słychać go było jeszcze, trzymając ucho o 5 do 6 dm. ponad wylotem rury.

*) Należy zauważyć, że zapomocą słuchawki, otwartej u dołu, nie się nie słyszy. Słyszy się dopiero wtedy, gdy się głowę zupełnie zanurzy w wodę i ucho wodą napełni, lub gdy się, tak jak ja, używa rury, wypełnionej powietrzem.

Przy pomocy tego urządzenia doświadczenie stało się bardzo łatwym i pozwalało osiągnąć nadzwyczajną dokładność. Albowiem nie potrzebowałem już pomocnika, któryby mi dawał znak przy nadejściu głosu; sam mogłem jednocześnie widzieć sygnał i słyszeć uderzenie dzwonu a przez to usunąłem źródło błędów, trudnych do ocenienia. Wreszcie miałem możność wzmocnienia natężenia głosu przez zwiększenie powierzchni rury. Nadałem jej zatem długość 5 m. (rys. 17) oraz postać rozszerzoną u dołu; wylot tego rozszerzenia był pionowy i zamykał się płytą metalową o powierzchni około 20 dm. kwadratowych. Górny koniec rury miał postać stożka, pochylonego względem osi tak, aby można było przyłożyć do niego ucho. Rurę zwracało się tak, aby powierzchnia dolna, zamykająca rozszerzenie rury, była zwrócona ku dzwoniwi...

Chronometr, którego używałem, mógł być puszcany w ruch oraz zatrzymywany co ćwierć sekundy zapomocą lekkiego naciśnięcia. Ponieważ doświadczenia tymczasowe, dokonywane na odległościach 5 do 6000 m. wykazały możliwość jeszcze większej skali, przeto powtórzyłem doświadczenia w miejscu największej szerokości jeziora, t. j. pomiędzy miasteczkami Rolle i Thonon, w odległości 14000 m.

Trudno było o wybór miejscowości bardziej odpowiedniej dla tych doświadczeń. Głębokość wody pomiędzy tymi punktami jest bardzo duża, a dno ma spadek prawie zupełnie równy po obu stronach — bez żadnego wzniesienia, któreby mogło tamować głos. Można się o tem przekonać z notatki p. de la Bèche, dotyczącej głębokości jeziora Genewskiego, w której podaje przekrój jeziora pomiędzy Rolle i Thonon. Według tego przekroju średnia głębokość jeziora pomiędzy temi dwoma miastami wynosi 140 m. Nadto nie dostrzega się na tej przestrzeni ani śladu prądów; woda jest nader przezroczysta, a głębokość jej tak wielka, że ruch fal nie może jej zamącić. Miejsce, w którym był dzwon i miejsce, w którym sam się znajdowałem w celu słuchania, leżały na linii, wiodącej od dzwonnicy w Thonon do jednego z rogów zamku w Rolle. Obie łodzie były umieszczone każda

o 200 m. od swegu brzegu. Po kilku doświadczeniach przekonałem się, że dla tej odległości sygnałem najbardziej celowym i momentalnym było nagłe zapalenie dostatecznej ilości prochu strzelniczego. Spalenie około ćwierci funta powodowało błysk, który można było bardzo łatwo zauważyć na drugiej stacyi, chociaż krzywizna ziemi zasłaniała mi widok wszystkich przedmiotów, wzniesionych mniej niż o 9 m. ponad powierzchnię wody. W celu szybkiego zapalenia prochu użyto lontu *l*, który dzięki ruchowi młotka stykał się z prochem *p* w tej samej chwili, w której młotek uderzał w dzwon. Przez to światło spalonego prochu, które służyło jako sygnał, pojawiało się zawsze w tej samej chwili, w której uderzano w dzwon.

Znajdowałem się na drugiej stacyi, twarzą zwrócony ku sygnałowi, przyłożywszy ucho do wylotu rury, którą trzymał pomocnik, miałem więc obie ręce wolne i mogłem zatrzymać chronometr. W chwili dostrzeżenia światła puszczałem chronometr w ruch przez naciśnięcie i zatrzymywałem go w chwili usłyszenia głosu. Droga, przebyta przez wskazówkę, była miarą czasu, jakiego głos potrzebował, aby dojść do mnie.

Pomiędzy zauważeniem sygnału świetlnego czy głosowego i towarzyszącym mu ruchem naciśnięcia chronometru musiała za każdym razem upłynąć pewna ilość czasu; ponieważ sygnał świetlny dochodził obserwatora w chwili niespodziewanej, a sygnał głosowy — w chwili dokładnie przewidzianej, więc w pierwszym wypadku ruch musiał następować prędzej po otrzymaniu sygnału, niż w wypadku drugim. Z tego powodu czas mierzony jest nieco mniejszy od rzeczywistego, ale błąd popełniony nie może przekraczać ćwierci sekundy.

Podczas trzech różnych dni wykonałem trzy szeregi doświadczeń, których wyniki tu przytaczam.

Obserwowane czasy w sekundach.

7 listop. $9\frac{1}{2}$, $9\frac{1}{2}$, $9\frac{1}{4}$, $9\frac{1}{2}$, $9\frac{1}{2}$, $9\frac{1}{4}$, $9\frac{1}{4}$, $9\frac{1}{4}$, $9\frac{1}{2}$,
 $9\frac{1}{4}$, 9, $9\frac{1}{2}$, $9\frac{1}{4}$, $9\frac{1}{4}$.

15 listop. $9\frac{1}{4}$, $9\frac{1}{2}$, $9\frac{1}{4}$, $9\frac{1}{4}$, $9\frac{1}{2}$, $9\frac{1}{4}$, 9, $9\frac{1}{4}$, $9\frac{1}{2}$,
 $9\frac{1}{4}$, $9\frac{1}{4}$, $9\frac{1}{4}$, $9\frac{1}{4}$.

18 listop. $9\frac{1}{4}$, $9\frac{1}{2}$, $9\frac{1}{4}$, $9\frac{1}{4}$, $9\frac{1}{4}$, 9, $9\frac{1}{4}$, $9\frac{1}{2}$, $9\frac{1}{4}$, $9\frac{1}{4}$,
 9, $9\frac{1}{4}$, $9\frac{1}{4}$, $9\frac{1}{2}$, $9\frac{1}{4}$, $9\frac{1}{4}$, $9\frac{1}{4}$.

Widać z tej tablicy, że czas, jaki upływał pomiędzy pojawieniem się światła i nadejściem głosu, był większy od $9''$, a mniejszy od $9''\frac{1}{2}$. Wartość średnia wynosi nieco więcej, niż $9''\frac{1}{4}$. Jeśli błąd powyżej wzmiankowany przyjmiemy jako równy niecałej ćwierci sekundy, to możemy uważać $9''\frac{1}{4}$ za czas, którego głos potrzebował rzeczywiście na przebycie drogi od jednej stacyi do drugiej.

Porównajmy teraz ten czas z wzajemną odległością obu stacyi. Jedyne znany pomiar tej odległości został dokonany przez pp. Saussure'a i Pictet'a; znaleźli oni jako odległość pomiędzy dzwonnica w Thonon, a wieżą w Rolle 7330 toise'ów ⁶⁾, czyli 14287 m. Ponieważ nie mogłem dostać wyników ich trójkątowania ⁷⁾, a pragnąłem przekonać się o dokładności tej liczby, przeto powtórzyłem ten pomiar... Ten pomiar dał mi 14240 m. jako odległość zamku w Rolle od dzwonnicy w Thonon. Pierwszy leży bezpośrednio nad jeziorem, natomiast dzwonnica w Thonon jest oddalona od brzegu o 353 m. To daje 13887 m. jako odległość obu brzegów.

Jeśli odjąć od tego 400 m. jako oddalenie obu łódek od brzegów, to otrzymamy 13487 m. na odległość pomiędzy obu stacyami. Liczbę tę można uważać za dokładną przynajmniej do 20 m.

Czas, potrzebny do przebieżenia tej drogi przez głos, był, jak powiedziano, bardzo blizki $9''\frac{1}{4}$. Ponieważ głos rochoodzi się jednostajnie, więc znajdziemy szybkość głosu czyli przestrzeń, przebytą przez głos w ciągu sekundy, dzieląc przestrzeń 13487 m. przez czas $9''\frac{1}{4}$, i otrzymamy 1435 m. jako rzeczywistą szybkość głosu w wodzie.

Błąd, popełniony przy obliczaniu tej wielkości, nie powinien przekraczać $\frac{1}{60}$ wartości prawdziwej.

Tych samych dni, w ciągu których wykonywałem doświadczenia, mierzyłem temperaturę wody w kilku miejscach pomiędzy obu stacyami, na głębokości 3 do 5 m., zapomocą

termometru, którego bańka była powleczonea woskiem. Na tej głębokości znalazłem temperaturę wszędzie jednakową; wynosiła ona 8,2° C. przy Thonon, 8,1° w środku jeziora i 7,9° przy Rolle, wartość średnia równa się więc 8,1°.

Aby porównać te wyniki z obliczeniem, należało dokładnie określić ściśliwość tej wody w tej samej temperaturze, a także gęstość jej względem wody destylowanej w 0°.

Woda jeziora w dostatecznej odległości od ujścia Rodanu może być uważana za zupełnie czystą. Zawiera ona ledwo $\frac{1}{2000}$ swego ciężaru ciał obcych...

Gęstość tej wody w temperaturze 0° różni się niezmiernie mało od jedności; ściśliwość jej, zmierzona za pomocą piezometru wynosi 49,5 milionowych na atmosferę. Zatem we wzorze na szybkość głosu

$$a = \sqrt{\frac{P \cdot k}{D \cdot \varepsilon}}$$

$$k = 1000000 \quad \varepsilon = 49,5 \quad D = 1.$$

P , t. j. ciśnienie jednej atmosfery = $b \cdot g \cdot d = 0,76 \cdot 9,8088 \cdot 13,544$. b oznacza w tym wzorze wysokość słupa rtęci w barometrze, g — przyspieszenie ziemskie, d — gęstość rtęci (jako jednostkę długości przyjęto metr).

Podstawiając we wzorze wszystkie te wartości, otrzymuje się po obliczeniu

$$a = 1428.$$

Taka jest więc szybkość głosu, określona teoretycznie i wyprowadzona z gęstości i ściśliwości wody w przypuszczeniu, że przy szybkim ściskaniu cząsteczek nie wywiązuje się ciepło, któreby mogło podnieść ich temperaturę. Szybkość głosu według naszych doświadczeń wynosi, jakieśmy wspominali: 13487/9'4 czyli 1435 metrów.

Prędkość zaobserwowana jest zatem większa od obliczonej, ale różnica wynosi tylko 7 m. Ta różnica jest zbyt mała, aby ją można było przypisać wywiązywaniu się ciepła. Gdyby była nawet dwa lub trzy razy większa, to i tak

jeszcze nie przekraczałyby granicy błędów obserwacji. Więc zgodność pomiędzy doświadczeniem a teorią jest tak doskonała, jak tego tylko można było oczekiwać.

U W A G I.

¹⁾ (Str. 104) Droga, jaką w ciągu pierwszej sekundy przebywa ciało, spadające pod wpływem siły ciężkości, jest liczbowo równa połowie przyspieszenia ziemskiego g $\left(\frac{\text{cm.}}{\text{sek.}^2}\right)$. Wysokość h słupa powietrza o gęstości bezwzględnej D $\left(\frac{\text{gr.}}{\text{cm.}^3}\right)$, równoważącego ciśnienie atmosfery P $\left(\frac{\text{dyn.}}{\text{cm.}^2}\right)$, wynosi $\frac{P}{Dg}$ (cm.), na podstawie wzoru $P = h \cdot D \cdot g$. Stąd otrzymujemy wzór na szybkość głosu a , odpowiadający prawu, podanemu w tekście:

$$a = \sqrt{\frac{g \cdot P}{D \cdot g}} = \sqrt{\frac{P}{D}} \left(\frac{\text{cm.}}{\text{sek.}}\right)$$

Wzoru Newton'a używa się dziś powszechnie w tej postaci.

²⁾ (Str. 105) Pomiar szybkości głosu daje się wykonać dokładniej i łatwiej, niż pomiar cieplny, służący do określania stosunku obu rodzajów ciepła właściwego gazów; z tego powodu określa się dziś zwykle ten stosunek na podstawie pomiarów akustycznych; zgodność wyników obu metod: pośredniej i bezpośrednio jest doskonała.

³⁾ (Str. 106) $\frac{\epsilon}{k}$ jest tu ściśnieniem, przypadającym na jednostkę długości słupa cieczy.

Wyrażenie $\beta = \frac{Pk}{\epsilon}$, które określa stosunek ciśnienia do wywołanej przez nie zmiany objętości, nazywamy współczynnikiem spężystości objętościowej. Podany wzór możemy więc napisać w postaci dziś używanej:

$$a = \sqrt{\frac{\beta}{D}}$$

Wyprowadzenie tego wzoru: ob. Witkowski, Tom I, wyd. II, ust. 195. Dla ciał stałych szybkość głosu czyli szybkość rozchodzenia się fal podłużnych wyraża się tym samym wzorem, jeśli zastąpić w nim spódczynnik β przez spódczynnik wydłużenia, czyli t. zw. moduł Young'a E . (Witkowski, tamże. ust. 144).

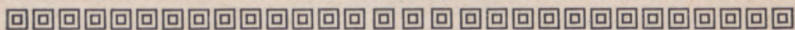
Miarą sprężystości objętościowej dla gazów, dla małych zgęszczeń, jest prężność gazu. (ob. Witkowski, tamże, ust. 181); czyli w tym wypadku $\beta = P$. Podstawiając tę wartość we wzór dla a , otrzymamy wzór, zamieszczony w uwadze 1).

4) (Str. 106) Dokładnych pomiarów szybkości głosu w metalach dokonał Wertheim metodą pośrednią; wprowadzał on pręt metalowy swobodny na obu końcach w drgania podłużne. Przy drganiach pręta powstaje fala stojąca, wywołana przez interferencję fali, odbijającej się kolejno od obu końców pręta. Na tej podstawie można obliczyć szybkość rozchodzenia się głosu w metalu, jeśli jest wiadoma ilość drgań pręta na sekundę. Obserwacje Wertheim'a potwierdziły trafność teorii.

5) (Str. 106) Biot wykonywał doświadczenia w rurach wodociągowych Paryża; długość rur wynosiła 951 m.

6) (Str. 112) Toise—stara francuska miara długości=1,949 m.

7) (Str. 112) Trójkątowaniem nazywa się metoda określania odległości dwóch punktów na powierzchni ziemi, zbyt odległych od siebie lub przedzielonych terenem zbyt niedogodnym, aby odległość ich można było zmierzyć bezpośrednio. Pomiędzy punktami danymi obiera się kilka punktów pomocniczych, łatwo dostrzegalnych (szczyty wież, pagórki i t. p.); linie, łączące te punkty, tworzą szereg trójkątów, których kąty mierzy się dokładnie za pomocą teodolitu; bok jednego z trójkątów, t. j. odległość pomiędzy dwoma z punktów obserwacyjnych, mierzy się z możliwą dokładnością; ta długość nazywa się podstawą trójkątowania. Z tych danych można obliczać kolejno wszystkie boki trójkątów, oraz długość linii, łączącej punkty skrajne, których odległość należało określić. Tej metody używa się np. do mierzenia długości łuku południka.



FELIKS SAVART

(1791—1841)

medyk i fizyk francuski, był początkowo lekarzem w Strassburgu i Metz, lecz niebawem porzucił zawód lekarski, pociągnięty przez badania nad akustyką, dla której rozwoju położył też zasługi nie-małe. Badał między innymi drgania prętów, płyt oraz ciał płynnych; dla wykrycia węzłów i strzałek fal stojących w rurach obmyślił przyrząd, składający się z cienkiej błonki, naciągniętej na pierścień drewniany. Błonę posypaną piaskiem wpuszcza się na nitce do rury dźwięczącej; błona drga, podzuczając ziarenka piasku, a tylko w płaszczyznach węzłowych pozostaje nieruchomą. Chcąc znaleźć granicę wysokości tonów dostrzegalnych, zbudował Savart koło zębate, znane pod jego imieniem; opis tego przyrządu i wykonanych z nim doświadczeń znajdzie czytelnik w dołączonym tekście. Savart badał nadto zjawisko resonancyi, budowę i funkcjonowanie ucha i narządu głosowego. Prócz tego wraz z Biot'em odkrył prawo, rządzące działaniem prądu elektrycznego na biegun magnesu; prawo to nosi nazwę prawa Biot'a i Savart'a. (ob. tom II zbioru niniejszego).

O wrażliwości narządu słuchowego

przez p. Feliksa Savart'a *).

Liczni a znakomici fizycy starali się określić granice, poza którymi tony czy to wysokie, czy niskie nie są już dostrzegalne dla ucha ludzkiego. Dość zgodnie naogół ustalono granicę tonów niskich, której odpowiada około 30 drgań na sekundę... Co do granicy tonów wysokich, którą chcę się zająć szczegółowo w tej rozprawie, to pod tym względem fizycy są dalecy od zgody. Chłodni przyjmuje, że można jeszcze słyszeć tony, powodowane około 12000 prostych¹⁾ drgań na sekundę. Biot uważa jako granicę ton piszczałki otwartej 18 linii długiej, której przypisuje 8192 proste drgania na sekundę. Wollaston twierdzi..., że najwyższe tony, jakie można słyszeć, pochodzą od drgań 600 do 700 razy szybszych, niż tony granicy dolnej; jeśli założymy, że najniższe z tonów dostrzegalnych są wytwarzane przez 30 prostych drgań na sekundę, to wynikałoby stąd, że według Wollaston'a granica wyższa leży w obszarze pomiędzy 18 a 21000 prostych drgań na sekundę. Jednym słowem, jeśli się zwrócić do podręczników fizyki, jakie się dotąd ukazały, to można się przekonać, że nie dokonano jeszcze żadnego dokładnego doświadczenia w tym przedmiocie i że od czasów Sauveur'a²⁾ akustyka nie uczyniła w tym kierunku najmniejszego rzeczywistego postępu.

*) „Notes sur la sensibilité de l'organe de l'ouïe“ Ann. de Chim. et de Phys. T. 44 z r. 1830.

Warunki, niezbędne do rozwiązania tego zagadnienia, sprowadzają się do dwóch. Pierwszy polega oczywiście na dokładnem określeniu ilości drgań ciała dźwięczącego; drugi — na wydobywaniu tonów niezmiernie wysokich, a jednak dość silnych na to, aby mogły być usłyszane.

Tym warunkom czynią w znacznym stopniu zadość drgania prętów o końcach swobodnych. Pręt szklany o długości 159 mm. i średnicy 3 mm. wydawał tony wyraźnie słyszane o częstotliwości 31000 na sek. Drganie pręta jeszcze krótszego (150 mm.) o częstotliwości przeszło 33000 na sek. to dawało się słyszeć, to nie; tę okoliczność autor przypisuje zmiennej wrażliwości ucha oraz różnemu natężeniu wydobywanego dźwięku. Podobny wynik (około 32000) dały drgania poprzeczne prętów stalowych.

Z tych pierwszych doświadczeń zdawałoby się więc wynikać, że ucho nie jest w stanie słyszeć tonów wyższych, niż tony odpowiadające około 32000 prostych drgań na sekundę. Jeśli jednak wziąć pod uwagę, że, aby dojść do tej granicy, należy zawsze używać ciał o wymiarach bardzo nieznaczących, a więc ciał o obszerności drgań również niezmiernie małej, to drogą naturalną nasuwa się pytanie, czy tu rzeczywiście znajduje się granica dla ucha ludzkiego, czy też ton przestaje być dostrzegany dlatego, że nie posiada już dostatecznego natężenia.

W celu rozwiązania tego trudnego pytania należało wytwarzać tony za pomocą takiej metody, któraby pozwalała na zwiększanie obszerności drgań lub, mówiąc ogólniej, na zwiększanie wyrazistości wstrząśnięć, udzielanych otaczającemu powietrzu, a zarazem na określanie w sposób łatwy i jak najdokładniejszy ilości drgań lub uderzeń, udzielanych powietrzu zewnętrznemu. Wydawało mi się, że cel ten można osiągnąć w zupełności zapomocą koła, obracanego szybciej lub wolniej, którego obwód byłby zaopatrzony w odpowiednią liczbę zębów; zęby te kolejno uderzałyby jakies cienkie ciało (jak kartę lub klinowatą płytkę z lekkiego drzewa) umieszczone na stałej podstawie. Można się było łatwo spodziewać, że istotnie otrzyma się w ten sposób tony, których wysokość lub niskość zależałyby, podo-

bnie jak w syrenie p. Cagniard Latour'a, od większej lub mniejszej liczby uderzeń, wykonanych w czasie określonym; a ponieważ przy takim urządzeniu można dowolnie zwiększać wyrazistość uderzeń, zwiększając średnicę koła przy zachowaniu tej samej ilości zębów, przeto, rzecz jasna, można by zapomocą kół odpowiednio urządzonych wydobywać najwyższe dźwięki skali muzycznej, nie zmniejszając wcale natężenia dźwięku.

Pierwszych doświadczeń dokonałem z kołem mosiężnym o średnicy 24 cm., którego obwód był zaopatrzony w 360 zębów; dźwięki, jakie wydawało, wznosiły się lub opadały w miarę tego, jak szybkość obrotu stawała się większa lub mniejsza; a chociaż pierwszy przyrząd nie posiadał licznika, można było dość łatwo stwierdzić zapomocą chronometru, że otrzymane dźwięki zawsze były w zgodzie z szybkością obrotu. Gdy szybkość się zdwajała, ton podnosił się o oktawę; a jeśli było dostroić monochord tak, aby brzmiał unisono z dźwiękiem, wydobywanym przez koło, można się było przekonać, że liczba uderzeń była zupełnie taka sama, jak liczba drgań całkowitych struny.

Dźwięki tego niewielkiego przyrządu były bardzo czyste, gdy liczba uderzeń nie przekraczała trzech do czterech tysięcy na sekundę, co odpowiadałoby sześciu do ośmiu tysiącom drgań prostych, ponieważ, podobnie jak w syrenie, uderzenie wraz z następującą po niem ciszą należy uważać za jedno drganie całkowite. Poza tą granicą ton stawał się słaby i tracił znacznie na czystości. Było więc rzeczą widoczną, że, chcąc iść dalej, należało postugiwać się kołem o większej średnicy, nie zwiększając znacznie liczby zębów, aby przy tej samej szybkości obrotu uderzenia były lepiej oddzielone od siebie z powodu większego rozstawienia zębów.

Koło o średnicy 48 cm. i o 400 zębach pozwalało osiągnąć wyraźne i silne tony przy 10000 uderzeń na sekundę; przy 12000 do 15000 nie można już ich było dosłyszeć.

Ponieważ ta liczba nie przekraczała jeszcze tego, do czego doszedłem zapomocą prętów, drgających podłużnie,

przeto zbudowałem inny przyrząd, którego koło zębate, również mosiężne, miało 82 cm. średnicy i którego obwód był podzielony na 720 zębów. Dźwięki były dostrzegalne wtedy jeszcze, gdy liczba uderzeń wynosiła 24000 na sekundę, co odpowiadałoby 48000 prostych drgań; a chociaż natężenie dźwięku, ogromne przy 12 do 15000 uderzeń na sekundę, zaczęło już zmniejszać się znacznie, to jednak nie mógłbym powiedzieć, w jakim punkcie ton stawał się zupełnie niedostrzegalny, gdyż koło, którego używałem do poruszania koła zębatego, nie miało średnicy dość dużej na to, aby można było zwiększać jeszcze bardziej szybkość obrotu.

Należy zauważyć, że zdolność dostrzegania tak wysokich tonów nie była tylko mnie właściwą i że tony te były słyszane przez wszystkie osoby, obecne przy moich doświadczeniach. Nieścisle jest więc twierdzenie, wypowiedziane przez Wollaston'a, że granica, powyżej której nie można już słyszeć tonów wysokich, jest różna u różnych osobników....

Z doświadczeń tych zdaje się więc wynikać, że, zwiększając ustawicznie średnicę koła zębatego i szybkość obrotu, a nie zmieniając liczby zębów, możnaby wywoływać tony dostrzegalne jeszcze, choć pochodzące od liczby uderzeń, znacznie większych niż 24000 na sekundę. Na razie jednak nie byłem w stanie prowadzić dalej tych badań z powodu wysokiej ceny przyrządów, jakie należałoby zbudować....³⁾

Ponieważ ilość uderzeń otrzymanych przezemnie zapomocą koła o średnicy 82 cm. była już bardzo wielka i przewyższała znacznie granice, jakie zakreślano tonom dostrzegalnym, przeto było rzeczą nieodzowną mieć z jednej strony możliwość dokładnego obliczenia ilości obrotów koła zębatego, z drugiej strony — upewnienia się, że cienkie ciało, o które uderzały zęby, nie wpadało samo przez się w ruch drgający, w ciągu którego mogłoby ono np. uderzać tylko co drugi lub co trzeci ząb.... Ilość obrotów określano zapomocą dźwięku drugiego koła zębatego o mniejszej średnicy, zaopatrzonego w 30 do 40 razy mniejszą liczbę zębów, niż duże koło. Ponieważ dźwięk tego drugiego koła jest znacznie niższy, więc można łatwo dostroić monochord na

unisono i obliczyć ilość drgań wywołanych, wreszcie, znając tę liczbę, znaleźć ilość obrotów koła.

Co się tyczy drugiej trudności, t. j. przypuszczenia, że ciało cienkie mogłoby przeskakiwać peryodycznie pewną liczbę zębów, to można kwestyę rozstrzygnąć dwoma różnemi sposobami. Pierwszy polega na umieszczeniu na tej samej osi pewnej liczby kół zębatych tej samej średnicy i tej samej grubości, dla których liczby zębów byłyby w tym samym stosunku prostym, jak liczby drgań, potrzebnych do otrzymania kilku tonów gamy..... Ponieważ cztery koła o ilościach zębów równych 200, 250, 300 i 400, które więc powinny wytwarzać doskonały akord, istotnie dawały ten akord, przeto można było stąd wywnioskować, że cienkie ciało, uderzające o zęby, nie przepuszczało żadnego z nich bez uderzenia, tembardziej, że było trzymane bardzo krótko pomiędzy palcami; ta okoliczność sama przez się wykluczała niemal zupełnie drgania własne.

Drugi, znacznie prostszy sposób polega na tem, iż za pomocą rurki o dość małej średnicy wdmuchuje się prąd powietrza pomiędzy zęby koła, w kierunku prostopadłym do płaszczyzny koła: jest rzeczą jasną, że powinno stąd wynikać działanie analogiczne do działania syreny p. Cagniard Latour'a..., t. j. że powinien powstać dźwięk, wywołany uderzeniami okresowemi powietrza, wychodzącego z rurki; powietrze to uderza o powietrze zewnętrzne za każdym razem, kiedy przerwa pomiędzy zębami odkrywa wylot rurki. Dźwięk otrzymany powinien być taki sam, jak ten, który pochodzi od uderzenia zębów o ciało cienkie, o ile tylko to ciało nie przepuszcza żadnego zęba bez dotknięcia go. Doświadczenie poucza, że, używając jednocześnie obu metod, otrzymuje się zapomocą jednej i drugiej ściśle te same tony.

UWAGI.

¹⁾ (Str. 117) Drganie prostem nazywa autor ruch od wychylenia skrajnego w jedną stronę do następnego wychylenia skrajnego w drugą stronę; odpowiada to połowie okresu drgania. Dwa takie drgania proste stanowią dopiero drganie całkowite, odpowiadające całkowitemu okresowi ruchu; chcąc otrzymać częstości drgań, liczone w drganiach całkowitych, należy liczby, podawane przez autora, podzielić przez 2.

²⁾ (Str. 117) Józef Sauveur (1653—1716), uczony samouk, może być uważany za twórcę akustyki nowożytnej. Badał drgania prętów, strun i piszczałek; pierwszy też obliczał ilość drgań, odpowiadającą określonym tonom. Pomagał też Mariotte'owi przy jego doświadczeniach nad ściśliwością powietrza.

³⁾ (Str. 120) Badania innych fizyków rozszerzyły jeszcze tę granicę. Despretz np. słyszał ton małych widetek strojowych o 38000 drgań całkowitych, czyli o 76000 prostych drgań na sekundę. Ponad tę granicę nikt jeszcze dotąd nie wyszedł.

NAUKA O WRAŻENIACH DŹWIĘKOWYCH JAKO
PODSTAWA FIZYOLOGICZNA TEORYI MUZYKI

PRZEZ H. HELMHOLTZ'A 1)

prof. fizjologii Uniwersytetu Heidelberskiego *).

O wrażeniach głosowych wogóle.

Pierwszą i główną różnicą rozmaitych głosów, jaką wyczuwa nasze ucho, jest różnica pomiędzy szmerami i dźwiękami muzycznymi. Świsł, wycie i szum wiatru, plusk wody, huczenie i dudnienie wozu są przykładami głosów pierwszego rodzaju; dźwięki wszystkich narzędzi muzycznych — przykładami głosów drugiego rodzaju.

Dla zrozumienia, na czem polega różnica pomiędzy dźwiękami i szmerami, w większości wypadków wystarczy już do-

*) „Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik“. Brunświk. Wydanie pierwsze z r. 1862. Tłómaczono z wyd. drugiego z r. 1865. Z dzieła óbszernego i niezwykłe w treść bogatego zostały wybrane tylko ustępy najważniejsze i najbardziej charakterystyczne. Wyboru dokonano tak, aby przetłómaczone ustępy stanowiły logiczną całość i odtwarzały w skróceniu bieg myśli oryginału; wszystkie miejsca zbędne opuszczono przytem, aby nie powiększać i tak już znacznych rozmiarów przedruku. Z powodu dużej liczby tych opuszczeń, uważaliśmy za stosowne odstąpić tym razem ód przyjętego w tej ksiązce zwyczaju zaznaczania wielokropkami miejsc opuszczonych.

kładna obserwacja samem uchem bez uciekania się do sztucznych środków. Okazuje się mianowicie naogół, że w ciągu trwania szmeru występują szybkie zmiany różnorodnych wrażeń głosowych. Pomyślmy o dudnieniu wozu po kamiennym bruku, o plusku i szumie wodospadu lub fali morskiej, o szeleście liści w lesie. Mamy tu wszędzie szybkie i nieprawidłowe, lecz dające się wyraźnie rozpoznać zmiany różnorodnych głosów, występujących i ginących błyskawicznie. Natomiast dźwięk muzyczny wydaje się dla ucha głosem zupełnie spokojnym, równomiernym i niezmiennym w ciągu całego swego trwania; nie dają się w nim odróżnić żadne zmiany różnorodnych części składowych. Odpowiada mu więc wrażenie proste i prawidłowe. Wynika stąd jasno, że dźwięki muzyczne są pierwiastkami wrażeń słuchowych prostszymi i bardziej prawidłowymi, że więc na nich należy najpierw badać prawa i właściwości tych wrażeń.

Dochodzimy teraz do dalszego pytania: jaka różnica w zewnętrznych środkach pobudzania wrażeń słuchowych warunkuje różnicę pomiędzy szmerem i dźwiękiem? Zwykłym i normalnym środkiem pobudzania ucha ludzkiego są wstrząśnienia otaczającej masy powietrza. Nieprawidłowo zmienne wrażenia ucha przy szmerach prowadzą do wniosku, że przy nich i wstrząśnienia powietrza muszą być rodzajem ruchu nieprawidłowego i zmiennego, że natomiast podstawę dźwięków muzycznych tworzy ruch powietrza prawidłowy i równomiernie trwający; musi on być ze swej strony wzbudzany przez również prawidłowy ruch ciała wysyłającego dźwięki, którego uderzenia powietrze przenosi do ucha.

Badania fizyczne wykryły już rodzaj tych ruchów prawidłowych, które wywołują dźwięki muzyczne. Są to drgania, czyli odbywające się tam i napowrót ruchy ciał dźwięczących; ruchy te muszą być prawidłowe, okresowe. Przez ruch okresowy rozumiemy taki ruch, który w ściśle równych odstępach czasu powtarza się zawsze ściśle w ten sam sposób.... Możemy więc tak odpowiedzieć na postawione pytanie: „Wrażenie dźwięku bywa wywoływane

przez szybkie ruchy okresowe ciał dźwięczących, wrażenie szmeru — przez ruchy nieokresowe.

Dźwięki mogą się różnić między sobą:

1. natężeniem,
2. wysokością tonu,
3. barwą.

Tłómaczenie, co rozumiemy przez natężenie i wysokość tonu, byłoby zbyt cennym. Przez barwę dźwięku rozumiemy tę jego właściwość, dzięki której dźwięk skrzypiec różni się od dźwięku fletu, klarnetu lub głosu ludzkiego, gdy wszystkie biorą tę samą nutę, o tej samej wysokości tonu. Należy teraz wyjaśnić, jakie szczególne właściwości ruchów dźwiękowych odpowiadają tym trzem głównym różnicom pomiędzy dźwiękami.

Najpierw, co się tyczy natężenia dźwięku, to łatwo się przekonać, że wzrasta ono i słabnie wraz z obszernością (amplitudą) drgań ciała dźwięczącego.

Wysokość tonu zależy tylko od czasu drgania, lub, co na jedno wychodzi, od częstości drgań. Dźwięki są tem wyższe, im większa jest częstość drgań lub im krótszy ich czas.

Zapytujemy teraz, jakim zewnętrznym różnicom fizycznym fal głosowych odpowiadają różnice w barwie dźwięków. Widzieliśmy, że obszerność drgań odpowiada natężeniu, czas drgań — wysokości dźwięku; barwa dźwięku od nich zależeć nie może. Jest więc jedynie możliwem, że barwa dźwięku zależy od sposobu, w jaki odbywa się ruch w obrębie każdego oddzielnego okresu drgania. Przy wytwarzaniu dźwięku muzycznego żądaliśmy tylko, aby ruch ciała dźwięczącego był ruchem okresowym, t. j. aby w każdym okresie drgania działo się to samo, co się już działo w okresach poprzednich. Rodzaj ruchu, jaki zachodzi w obrębie każdego pojedynczego okresu, jest zupełnie dowolny, tak że pod tym względem pozostaje możliwość nieskończonej różnorodności ruchów dźwiękowych.

Jako przykłady ruchu okresowego przytacza autor ruch wahadła oraz podobny do niego, lecz znacznie szybszy ruch widełek strojowych; inne przykłady—to ruch młota, poruszanego przez koło wodne, lub ruch piłki, podzucanej wciąż pionowo w górę.

Aby prawo takich ruchów unaocznic lepiej, niżby to zdołał uczynić obszerny opis, matematycy i fizycy zwykli stosować metodę graficzną, do której i my będziemy zniewoleni często się uciekać.

Dla wszystkich ciał drgających możemy wykreślić krzywe, jeśli znamy prawo ich ruchu, t. j. jeśli wiemy, o ile punkt drgający wychyla się ze swego położenia równowagi w chwili dowolnie obranej.

Tak np. rys. 18. przedstawia ruch młota, podnoszonego przez koło wodne, lub punktu struny skrzypcowej, pociąganej przez smyczek; w przeciągu pierwszych dziewięciu części czasu wznosi się on powoli i stopniowo, a podczas dziesiątej nagle zeskakuje.

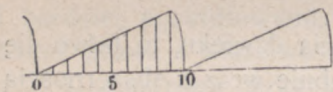


Fig. 18.

Fizycy, myśląc o postaci tych krzywych, wyobrażających prawo ruchu ciała dźwięczącego, mówią wprost o postaci drgań ciała i twierdzą, że od tej postaci drgań zależy barwa dźwięku. W dalszym ciągu zbadamy bliżej to mniemanie, które dotąd opierało się na tem tylko, że wiadano, iż barwa dźwięku nie może zależeć ani od częstości, ani od obszerności lub siły drgań.

Jeśli zbadać dokładnie i uważnie wpływ na ucho różnych postaci fali, — takiej np. jak na rys. 18, która odpowiada drganiu struny skrzypcowej, to dojdziemy do faktu dziwnego i niespodziewanego, znanego wprawdzie oddawna oddzielnym muzykom i fizykom, ale uważanego przeważnie jako curiozum, gdyż nie znano jego powszechności oraz wielkiego znaczenia dla wszystkich zjawisk dźwiękowych. Oto ucho, które napotyka takie drgania, słyszy przy dostatecznie wyęźzonej uwadze nie tylko ten ton, którego wysokość jest określona przez czas drgania, lecz prócz niego słyszy nadto cały szereg wyższych tonów, które nazywamy tonami harmonicznymi wyższymi dźwięku, w przeciwstawie-

niu do owego pierwszego tonu, tonu zasadniczego; ten ton jest z nich wszystkich najniższy i zwykle też najsilniejszy, i według jego wysokości oceniamy wysokość całego dźwięku. Szereg tych tonów wyższych jest taki sam dla wszystkich dźwięków muzycznych.

Częstości drgań tych tonów są 2, 3, 4, 5 i t. d. razy większe od częstości drgań tonu zasadniczego.

Całkowite wrażenie, jakie w uchu wytwarza okresowe wstrząśnienie powietrza, nazwaliśmy dźwiękiem. Teraz widzimy, że zawiera on w sobie szereg różnych tonów, które nazwiemy tonami cząstkowymi lub składowymi dźwięku. Pierwszy z nich to ton zasadniczy, pozostałe to jego tony harmoniczne wyższe. Numer porządkowy każdego z tonów cząstkowych wskazuje, ile razy częstość jego jest większa od częstości tonu zasadniczego. Więc drugi ton cząstkowy odpowiada dwa razy, trzeci — trzy razy większej liczbie drgań, niż ton zasadniczy i t. d.

G. S. Ohm²⁾ pierwszy to utrzymywał i wypowiedział twierdzenie, że istnieje jedna tylko postać drgań, której dźwięk nie zawiera wcale tonów harmonicznych, której jedyną część składową stanowi ton zasadniczy. Jest to ta postać drgań, którą opisaliśmy powyżej, jako właściwą wahadłu i widelkom strojowym, a która jest wyobrażona na fig. 19. Nazwiemy ją drganiem wahadłowym lub też,



Fig. 19.

ponieważ dźwięk jej nie zdradza, aby był złożonym z różnych tonów, nazwiemy ją drganiem prostym.

Ponieważ, jakśmy widzieli, barwa dźwięku zależy od postaci drgań, a przez postać określa się też istnienie tonów harmonicznych, będziemy się przeto musieli zapytać, o ile różnice w barwie dźwięków polegają na różnorodnych skojarzeniach tonu zasadniczego z tonami harmonicznymi rozmaitej siły.

Składanie drgań.

Gdy kilka ciał dźwięczących wzbudza w otaczającej nas przestrzeni powietrznej jednocześnie kilka układów fal głosowych, to zarówno zmiany gęstości powietrza, jak i przesunięcia i szybkości cząsteczek powietrza wewnątrz narządu słuchowego są równe sumie odpowiednich zmian, przesunięć i szybkości, jakieby wywołały poszczególne fale głosowe oddzielnie wzięte, i w tem znaczeniu możemy powiedzieć, że oddzielne drgania, jakieby wywołały poszczególne fale, istnieją w naszym narządzie słuchowym jednocześnie obok siebie, nie przeszkadzając sobie nawzajem.

Jak zachowuje się ucho wobec takiego ruchu powietrza? Rozkłada go, czy też nie rozkłada? Doświadczenie poucza, że jeśli dwie pary widełek strojowych brzmią w oktawie lub duodecymie, ucho potrafi bardzo dobrze odróżnić od siebie ich tony, choć rozróżnienie to jest nieco trudniejsze, niż przy innych interwałach. Jeśli jednak ucho jest w stanie rozłożyć takie spółbrzmienie dwóch par widełek, to niepodobna, aby nie wykonało tej samej analizy, jeśli ten sam ruch powietrza będzie wywołany przez jeden tylko flet, lub piszczałkę organów. I to dzieje się w istocie; dźwięk takiego narzędzia muzycznego, prosty sam przez się, pochodzący z jednego źródła, rozkłada się, jakżeśmy to już przytoczyli, na tony cząstkowe: na ton zasadniczy i, jak w naszych przykładach, na jeden ton harmoniczny wyższy.

Prawidło, według którego ucho dokonywa tej analizy, pierwszy wypowiedział w sposób ogólny G. S. Ohm.... Każdy ruch powietrza, który odpowiada zbiorowi dźwięków, należy rozłożyć na sumę prostych drgań wahadłowych, a każdemu takiemu drganiu prostemu odpowiada wyczuwany przez ucho ton, którego wysokość jest określona przez czas drgania odpowiadającego mu ruchu powietrza.

Różnorodność postaci drgań, jakie można otrzymać w ten sposób przez składanie drgań wahadłowych, jest nie tylko nieograniczenie wielką, ale jest tak wielką, że większą już być nie może. Mianowicie słynny matematyk francuski Fourier dowiódł prawa matematycznego, które tak możemy wypowiedzieć w zastosowaniu do rozpatrywanego przedmiotu:

Każdy ruch drgający powietrza w organie słuchowym, odpowiadający dźwiękowi muzycznemu, można przedstawić zawsze i to w jeden tylko sposób — jako sumę pewnej ilości ruchów drgających prostych, które odpowiadają tonom cząstkowym tego dźwięku.

Analiza dźwięków zapomocą oddźwięku.

Zamierzamy teraz dowieść, że proste tony cząstkowe, zawarte w dźwięku złożonym, sprawiają w świecie otaczającym działania mechaniczne, niezależne od ucha ludzkiego i jego wrażeń, niezależne również od rozważań czysto teoretycznych; te działania nadają więc temu szczególnemu sposobowi rozkładania postaci drgań na drgania wahadłowe znaczenie szczególne i charakter obiektywny.

Takie działanie zachodzi w zjawisku oddźwięku. Zachodzi ono we wszystkich tych ciałach, które, wprawione w drganie pod wpływem dowolnego impulsu, wykonywują dłuższy szereg drgań, zanim dojdą do spoczynku. Gdy więc takie ciała podlegają uderzeniom bardzo słabym, ale prawidłowo okresowym, z których każde zbyt jest nieznaczne, aby wywołać dostrzegalny ruch zdolnego do drgań ciała, to mogą jednak powstać bardzo silne i obszerne drgania takich ciał, jeśli okres tych słabych impulsów jest dokładnie równy okresowi drgań własnych ciała.

Takie impulsy okresowe pochodzą zazwyczaj od innego ciała, wykonywującego drgania prawidłowe; wówczas drgania drugiego z wymienionych ciał wywołują po pewnym czasie drgania pierwszego. W tych warunkach nazywamy to zjawisko *resonancją* lub *oddźwiękiem*³⁾.

Jeśli nacisnąć lekko klawisz fortepianu tak, aby nie uderzyć struny, a tylko uwolnić ją od tłumika, i zaśpiewać silnie ton tej struny we wnętrzu fortepianu, to, po przerwaniu śpiewu, słyszy się ten ton rozbrzmiewający z fortepianu; jeśli puścić klawisz tak, że tłumik opada na strunę — brzmienie ustaje.

Pzy tem doświadczeniu fale powietrza wzbudzone ludzkim głosem napotyka ją najpierw dekę resonansową; ta przewodzi wstrząśnienie, udzielone jej przez poruszone śpiewem powietrze, najsamprzód do punktów przytwierdzenia strun, którym tych wstrząśnień udziela. Wielkość każdego oddzielnego wstrząśnienia jest wprawdzie znikomo mała; działania długiego ich szeregu muszą się dōdawać, aby z nich mógł powstać dostrzegalny ruch struny; takie ustawiczne sumowanie działań istotnie zachodzi, gdy okres drobnych wstrząśnień, udzielanych strunom przez powietrze za pośrednictwem deki resonansowej, odpowiada dokładnie okresowi drgań własnych struny.

Zamiast głosu ludzkiego możemy zresztą użyć dźwięków, wydobytych z dowolnego narzędzia muzycznego. Zamiast fortepianu możemy wziąć skrzypce, gitarę, harfę lub jakie inne narzędzie z pudłem resonansowym, a także napięte błony, dzwony, płytki sprężyste i t. d.

Po opisanii w ten sposób zjawiska oddźwięku wogóle, musimy zbadać wpływ różnych postaci fal dźwiękowych na to zjawisko.

Zauważymy najsamprzód, że większość ciał sprężystych, pobudzonych przez jakąkolwiek słabą, okresowo działającą siłę do ustawicznych drgań, zawsze wpada w drgania wahałdłowe. Przeważnie jednak ciała mogą wykonywać kilka rodzajów takich drgań, różniących się zarówno czasem wahania, jak i sposobem, w jaki drgania rozkładają się na rozmaite

części ciała drgającego. Różnym wartościom czasu wahania odpowiadają więc różne tony, które takie ciało sprężyste może wytwarzać, czyli t. zw. tony własne ciała; wyjątkowo tylko, np. w strunach i wążkach piszczałkach organowych, odpowiadają one pod względem wysokości tonu wyższym tonom harmonicznym dźwięku muzycznego, o których mówiliśmy poprzednio; przeważnie tony te są nieharmoniczne w stosunku do tonu zasadniczego.

Często można uwidocznic drgania i rozkład ich na powierzchni ciała drgającego, posypując to ciało niewielką ilością drobnego piasku. Weźmy np. błonę (pęcherz zwierzęcy, albo cienką błonę kauczukową) napiętą na kolistym pierścieniu. Na rys. 20. są wyobrażone rozmaite postaci, jakie błona może przyjmować przy drganiu⁴⁾. Koła i średnice na powierzchni błony wyobrażają te punkty, które pozostają

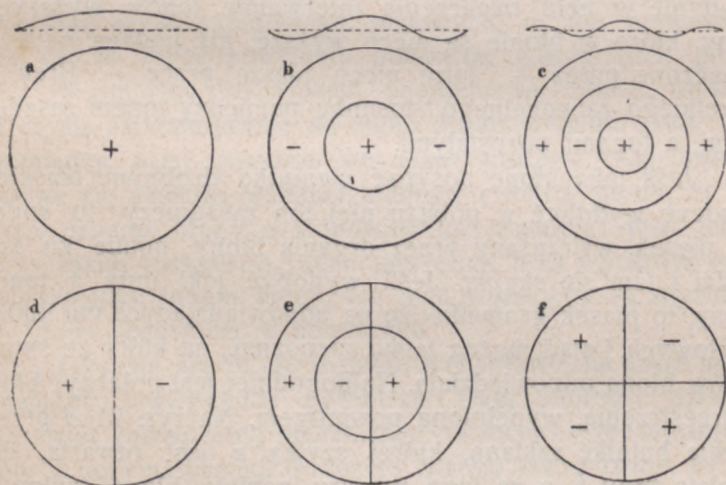


Fig. 20. Drgania błony.

w spoczynku podczas drgań; są to t. zw. linie węzłowe. Dzielą one powierzchnię na pewną liczbę oddzielnych części, z których każda wygina się kolejno w górę i na dół i to tak, że, gdy części oznaczone znakiem $+$ wychylają się do góry, części oznaczone znakiem $-$ wyginają się na dół. Nad rysunkami *a*, *b*, *c*, są wyrysowane kształty, jakieby przyjmo-

wał przekrój błony podczas ruchu. Przez posypanie piaskiem można uwidocznic wyrysowane kształty drgań: gdy błona zaczyna drgać, piasek zbiera się na liniach węzłowych.

W czasie, w którym błona wykonywa 100 drgań o kształcie *a*, ilość drgań o innym kształcie jest następująca:

Kształt drgań	Częstość drgań	Wysokość tonu
<i>a</i> bez linii węzłowych	100	<i>c</i>
<i>b</i> o jednym kole	229,6	<i>d'</i> +
<i>c</i> o dwóch kołach	359,9	<i>b'</i> +
<i>d</i> o jednej średnicy	159	<i>as</i>
<i>e</i> o jednej średnicy i jednym kole	292	<i>g'</i> —
<i>f</i> o dwóch średnicach	214	<i>cis'</i>

Ton zasadniczy oznaczyłem w sposób dowolny przez *c* jedynie w celu oznaczenia interwałów tonów wyższych. Tony, które w błonie są nieco wyższe, niż podana nuta, są oznaczone przez +, tony nieco niższe przez —. Brak tu wszelkiego racjonalnego stosunku pomiędzy tonem zasadniczym, a tonami pozostałymi.

Jeśli taką błonę posypać cieniutko drobnym piaskiem i mocno wydobyć w pobliżu niej ton zasadniczy, to widać, jak piasek, wstrząsany przez drgania błony, mknie ku krawędzi i tam się skupia. Jeśli wydobyć jaki inny z tonów błony, to piasek gromadzi się na odpowiadających mu liniach węzłowych, i stąd można łatwo rozpoznać, na który ze swych tonów błona odpowiedziała. Najdogodniej jest połączyć błonę z przestrzenią, wypełnioną powietrzem. Na rys. 21 *A* przedstawia butelkę szklaną, której szyjka *a* jest otwarta, dno odcięte przy *b*, a na jego miejscu napięta błona (wilgotny pęcherz świński, naciągnięty i umocowany, a następnie wysuszony). Przy *c* jest umocowana na wosku nitka z kokonu, zakończona kropelką laku; ta kropelka zwisa, jak wahadło, i opiera się o błonę. Gdy błona wpada w drgania, wahadełko wykonywa gwałtowne skoki.

Zastosowanie takiego wahadełka jest bardzo wygodne, gdy nie zachodzi obawa wzięcia tonu zasadniczego błony

za jeden z innych jej tonów własnych. Jeśli jednak chodzi o niewątpliwe rozróżnianie tonów, które wprawiają błonę w drgania, należy butelkę ustawić szyjką na dół i błonę posypać piaskiem. Można obniżyć ton zasadniczy błony przez zwiększenie wielkości błony, albo objętości butelki, przez zmniejszenie napięcia błony, wreszcie przez zwężenie otworu butelki.

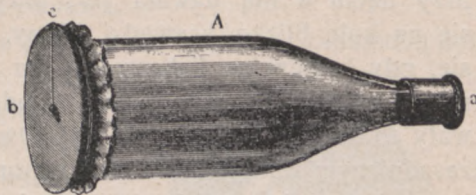


Fig. 21. Resonancja błony.

Taką błonę wprawiają w drgania nie tylko dźwięki o wysokości tonu, równej wysokości tonu własnego błony, ale i takie, które zawierają ton własny błony jako wyższy ton harmoniczny. Wogóle, jeśli w powietrzu krzyżuje się dowolna liczba układów fal głosowych, to dla przekonania się, czy w błonie powstanie oddźwięk, należy ruch powietrza w miejscu, w którym znajduje się błona, rozłożyć w myśli matematycznie na sumę drgań wahadłowych. Jeśli pomiędzy nimi znajdzie się takie, którego czas wahania równa się czasowi wahania jednego z tonów błony, to wystąpi drganie błony o odpowiednim kształcie; jeśli jednak przy takim rozkładzie ruchu powietrza brak wyrazów, odpowiadających tonom błony, lub jeśli wyrazy te są zbyt małe, to błona pozostanie w spoczynku.

Okazuje się tu, że drgania wahadłowe, na jakie można rozłożyć zawiły ruch powietrza, mają zdolność działania na świat zewnętrzny, niezależnie od ucha i niezależnie od teorii matematycznej. Przez to zostaje stwierdzone, że rozważania teoretyczne, które najpierw doprowadziły matematyków do tego sposobu rozkładania drgań złożonych, w naturze rzeczy znajdują swe uzasadnienie.

Przytaczam tu jako przykład opis jednego doświadczenia:

Butelka kształtu takiego, jak na rys. 21, 140 mm. wysoka z naciągniętą cienką błoną z kauczuku wulkanizowa-

nego, której część drgająca miała 49 mm. średnicy, posiadała obsadę mosiężną (*a*) a w niej otwór o 13 mm. średnicy: przy dęciu w nią dawała *fis'*, przyczem piasek gromadził się na kole blisko krawędzi błony. To samo koło tworzyło się, gdy brałem na fisharmonii ten sam ton *fis'* albo jego niższą oktawę *fis*, albo niższą duodecymę³⁾ *H*; *Fis* i *D* dawały to samo koło, lecz słabiej. Owo *fis'* błony było tonem zasadniczym dźwięku *fis'* fisharmonii, pierwszym wyższym tonem harmonicznym dźwięku *fis*, drugim — *H*, trzecim — *Fis*, czwartym — *D*. Dlatego mogły wszystkie te nuty wprawiać błonę w drganie i to tego kształtu, jaki odpowiada jej tonowi najniższemu. Drugie, mniejsze koło o średnicy 19 mm. zostało wytworzone przez *h'*, słabiej przez *h*, ledwo dostrzegalnie przez niższą duodecymę *e*, a więc przez tony, których ilość drgań wynosi $\frac{1}{2}$ i $\frac{1}{3}$ ilości drgań *h*.

Takie napięte błony nadają się wybornie do takich i tym podobnych doświadczeń nad tonami cząstkowymi dźwięków złożonych. Mają one tę wielką zaletę, że przy ich stosowaniu nie używa się wcale ucha; ale są one niezbyt czułe na słabsze tony. Znacznie większą czułość przedstawiają podane przezemnie resonatory. Są to puste kule lub rurki szklane o dwóch otworach, odwzorowane na rys. 22a i b. Jeden otwór *a* ma brzegi ostro obcięte, drugi *b* w postaci lejka jest tak ukształtowany, że można go włożyć do ucha. Ten drugi koniec oblepiał zwykle roztopio-

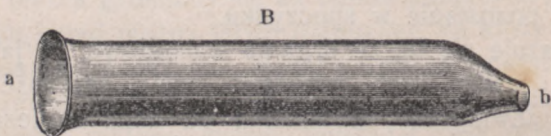


Fig. 22a. Resonator szklany.

nym lakiem, a gdy już ostygł na tyle, że można go wprawdzie bezkarnie dotykać palcami, ale jest jeszcze miękki, wciśkam ten otwór resonatora do kanału usznego. Lak kształtuje się wówczas zgodnie z wewnętrzną powierzchnią kanału, a gdy się następnie przykładam kulę do ucha, zamyka je ona łatwo i zupełnie szczelnie. Taki resonator jest naogół zu-

pełnie podobny do powyżej opisanej butelki rezonansowej, jedynie zamiast użytej tam błony sztucznej tu występuje błona bębenkowa obserwatora.

Jeśli zatkać sobie jedno ucho (najlepiej zapomocą korka lakowego o kształcie, odpowiadającym kształtowi kanału usznego), a do drugiego włożyć taki rezonator, to większość tonów, powstających w otoczeniu, słyszemy znacznie bardziej stłumioną; jeśli natomiast zostanie wzięty ton własny rezonatora, to rozlega się on w uchu z potężną siłą.

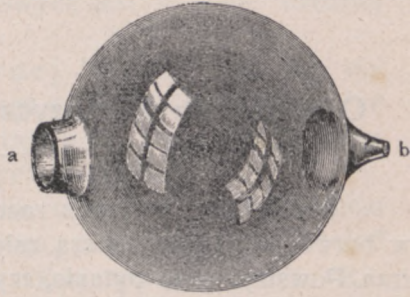


Fig. 22b. Resonator kulisty.

To daje możliwość każdemu człowiekowi, nawet o słuchu tępym i muzykalnie zupełnie niewyrobionym, wysłuchania odpowiedniego, nawet słabego tonu z pomiędzy wielkiej liczby innych tonów; można nawet dostrzedz, że ton rezonatora pojawia się w świście wiatru, dudnieniu wozu lub w szmerze wody. Wspomniane rezonatory stanowią bez porównania czulszy środek do tego celu, niż nastrojone błony.

Dostrojony szereg takich rezonatorów jest z tego powodu ważnym środkiem, który z jednej strony pozwala niewyrobionemu muzykalnie uchu na przeprowadzenie wielkiej ilości badań, w których chodzi o wyraźne dostrzeżenie oddzielnych słabych tonów obok innych silniejszych, np. badań nad tonami kombinacyjnymi⁶⁾, wyższymi tonami harmonicznymi i nad szeregiem innych zjawisk, występujących przy akordach; bez rezonatora taka obserwacja wymaga ucha muzykalnie wyrobionego lub też bardzo wytężonego i celowo wspieranego napięcia uwagi; z tego też powodu opisane zjawiska były dotąd dostępne obserwacji niewielu tylko jednostek, i istniała znaczna liczba fizyków, a nawet muzyków, którym się nigdy nie udało ich rozróżnić. Z drugiej strony nawet muzykalnie wyrobione ucho jest w stanie przy pomocy rezonatorów posunąć analizę zbioru

dźwięków znacznie dalej, niż dotychczas. Wątpię, czy bez nich udałoby mi się przeprowadzić obserwacje, które poniżej przytoczę, z taką pewnością i dokładnością, jaką istotnie osiągnąłem.

O różnicach w muzycznej barwie dźwięków.

Widzieliśmy w końcu rozdziału pierwszego, że różnice w barwie dźwięków muszą zależeć od kształtu drgań powietrza. Powstaje więc pytanie, czy i o ile różnice barwy dźwięków dadzą się sprowadzić do tego, że rozmaite dźwięki łączą w sobie rozmaite tony cząstkowe o rozmaitem natężeniu.

Należy jednak od razu zauważyć, że dotychczas badacze skłonni byli do przypisywania barwie dźwięków wszelkich możliwych właściwości dźwięków, które nie dotyczyły bezpośrednio ich natężenia i wysokości tonu; było to słusznem o tyle, że i samo pojęcie barwy dźwięku dawało się określić tylko negatywnie. Ale już krótkie zastanowienie wskazuje, że niektóre z tych właściwości zależą od sposobu, w jaki dźwięki powstają i zanikają. Sposoby powstawania i zamierania dźwięków są po części tak charakterystyczne, że w głosie ludzkim zostały oznaczone szeregiem oddzielnych liter. Należą tu mianowicie spółgłoski wybuchowe *B, D, G* i *P, T, K*.

Jak przy tych głoskach, tak i przy uderzaniu strun różnica dźwięku polega częściowo na szybkości, z jaką ton ginie. Gdy struny mają małą masę (struny z kiszek) i są umocowane na pudłach rezonansowych łatwych do poruszenia (jak w skrzypcach, gitarze, cytrze), to drgania ich zamierają bardzo szybko po uderzeniu, ton jest suchy, krótki, bezdźwięczny, jak przy *piccato* skrzypiec. Jeśli natomiast są metalowe, a więc o większej masie i silnem napięciu, umocowane na mocnych i ciężkich podstawkach, mało poddających się wstrząśnieniom, to powoli tylko przekazują

swe drgania powietrza i pudłu resonansowemu; ich drgania trwają dłużej, ich dźwięk jest trwalszy i pełniejszy, jak np. w fortepianie, ale nawet w przybliżeniu nie tak silny i przenikliwy, jak przy uderzaniu z taką samą siłą strun, łatwo przekazujących swoje tony; z tego powodu dobrze wykonane *piccato* instrumentów smyczkowych jest o wiele bardziej przenikliwe, niż ton fortepianu.

Mówiąc dalej o muzycznej barwie dźwięku, nie będziemy na razie zwracali uwagi na te właściwości, zależne od powstawania i zanikania, a będziemy uwzględniali tylko właściwości dźwięków, trwających równomiernie.

Ale i przy trwaniu dźwięku o stałym i niezmiennym natężeniu dołączają się do niego, przy większości metod wydobywania go, szmery, jako wyraz mniejszych lub większych nieprawidłowości w ruchu powietrza. W dźwiękach instrumentów dętych, podtrzymywanych przez prąd powietrza, słychać zazwyczaj silniej lub słabiej szum i syczenie powietrza, rozbijającego się o ostre krawędzie otworu. Przy dźwięczeniu strun lub też prętów i płyt, pociąganych smyczkiem, słychać dość silny szmer tarcia smyczka. Zwykle, słuchając muzyki, staramy się nie dosłyszeć tych szmerów, abstrahujemy od nich umyślnie, ale przy bliższej uwadze słychać je bardzo wyraźnie w większości dźwięków, wydobywanych przez dęcie i pocieranie. Jak wiadomo, większość spółgłosek mowy ludzkiej charakteryzują takie trwałe szmery np. *F*, *W*, *S*, *Sz*, *Cz*, *Dż*, angielskie *Th*.

W niniejszym rozdziale nie będziemy zwracali uwagi na wszelkie nieprawidłowe ruchy powietrza, na powstawanie i przerywanie głosu i będziemy rozważali jedynie część dźwięku właściwie muzyczną, która odpowiada prawidłowo okresowemu, równomiernie trwającemu ruchowi powietrza, i będziemy się starali odnaleźć, jaki stosunek zachodzi pomiędzy składaniem dźwięków z oddzielnych tonów a barwą dźwięków. To, co z właściwości barwy dźwięku temu odpowiada, będziemy nazywali krótko muzyczną barwą dźwięku.

1. Dźwięki bez wyższych tonów harmonicznych.

Zaczynamy od tych dźwięków, które nie są złożone, lecz składają się z jednego tylko prostego tonu. Najczyściej i najłatwiej można je otrzymać, zbliżając uderzone widełki strojowe do otworu rury rezonansowej. Te tony są nadzwyczaj miękkie, nie zawierają w sobie nic ostrego lub szorstkiego; zdają się leżeć stosunkowo nisko, tak, że już te tony, które ze względu na swą wysokość odpowiadają niskim tonom głosu basowego, robią wrażenie szczególnej i niezwyklej głębokości; barwa dźwięku takich niskich tonów prostych jest też nieco głucha.

Ponieważ kształt fal prostych jest dany w zupełności, jeśli tylko jest dana ich obszerność, przeto tony proste mogą wykazywać różnice natężenia, ale nie — barwy muzycznej. Tony proste, którym towarzyszą tylko szmery powietrza, można też otrzymać przez dęcie w pękate butelki. Jeśli będziemy abstrahowali od tarcia powietrza, to właściwa muzyczna barwa tych tonów jest istotnie taka sama, jak barwa tonów widełek strojowych.

Dalszy ciąg rozdziału zawiera analizę sposobu powstawania dźwięków w narzędziach muzycznych różnych typów: strunowych, smyczkowych i dętych, oraz analizę barwy wytwarzanych przez nie dźwięków. Przytaczamy tu obszerniejsze wyjątki z ustępu, poświęconego dźwiękom piszczałek stroikowych.

6. Dźwięki piszczałek stroikowych.

Dźwięki instrumentów, należących do tego działu, są wzbudzone podobnie, jak dźwięki syreny: droga dla prądu powietrza kolejno otwiera się i zamyka, przez co sam prąd powietrza rozpada się na szereg oddzielnych impulsów.

Dokonywa się to zapomocą stroików: są to albo sprężyste języczki z metalu lub drzewa (organy, klarnet, obój i t. d.) albo sprężyste, napięte błony.

Stroiki błonowe. Ich własności można najlepiej badać na umyślnie sporządzonych stroikach tego rodzaju.

W tym celu ścina się ukośnie górny koniec rury drewnianej lub gutaperkowej z dwóch stron, jak na rys. 23, tak aby powstały dwa mniej więcej prostokątne ostrza pomiędzy obu ściankami powierzchniami. Następnie na obie powierzchnie, przecinające się na podobieństwo dachu, naciąga się lekko paski wulkanizowanego kauczuku tak, aby pozostała pomiędzy nimi wązka szczelina, i obwiązuje się je nitką. W ten sposób powstaje munsztuk stroikowy, który można dowolnie łączyć z rurami lub innymi zbiornikami. Gdy błony wyginają się nawewnątrz, wówczas zamykają szparę; wyginając się na zewnątrz, otwierają ją.

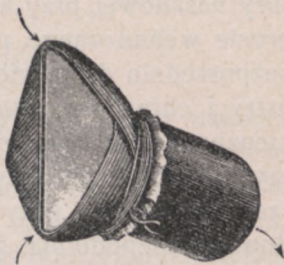


Fig. 23. Stroik błonowy.

Jako instrumenty muzyczne występują dwa tylko rodzaje takich stroików błonowych: wargi ludzkie przy dęciu w instrumenty blaszane, oraz krtani ludzka przy śpiewie.

W krtani rolę stroika błonowego odgrywają struny głosowe. Są one napięte w kierunku od przodu do tyłu, podobnie jak błony kauczukowe (fig. 23), i pozostawiają pomiędzy sobą szczelinę — szparę głosową. Mają one tę wyższość nad wszelkimi sztucznie wytworzonymi stroikami, że szerokość szpary, napięcie błon, a nawet ich kształt może być dowolnie zmieniany z niezwykłą szybkością i pewnością; do tego dołącza się jeszcze wielka zmienność rury nasadowej, którą tworzy jama ustna; można więc z krtani wydobyć znacznie większą różnorodność dźwięków, niż z jakiegolwiek instrumentu sztucznego.

Przechodzimy teraz do naszego właściwego przedmiotu, do barwy dźwięków piszczałek stroikowych. Przez kolejne otwieranie i zamykanie kanału jednostajny przepływ powietrza zamienia się w ruch, powtarzający się okresowo, który może podrażnić ucho. Ten ruch powietrza, jak każdy ruch okresowy, może być rozłożony na szereg drgań prostych. Liczba wyrazów takiego szeregu jest tem większa, im mniej ciągłym jest ruch rozkładany. Ruch powietrza, przepływają-

cego przez stroik lub syrenę, jest w wysokim stopniu nieciągły, gdyż poszczególne impulsy powietrza muszą być przedzielane zupełnymi pauzami w tym czasie, kiedy otwór jest zamknięty. Z tego powodu same stroiki bez rury nasadowej, przy których użyciu wszystkie oddzielne tony proste wzbudzonego przez nie ruchu powietrza przechodzą bezpośrednio do powietrza otaczającego, mają dźwięk bardzo ostry i chrapliwy; istotnie słycać uchem uzbrojonym lub nieuzbrojonym długi szereg silnych i wyraźnych tonów wyższych aż do szesnastego lub dwudziestego, a nawet i wyższe tony istnieją oczywiście, choć odróżnić je od siebie trudno lub niepodobna, gdyż różnica między nimi jest mniejsza, niż pół tonu. Ten zamęt dysonujących tonów czyni dźwięki stroików swobodnych bardzo niemiłymi.

Dźwięk stroików zmienia się znacznie przez dołączenie rury nasadowej; mianowicie te wyższe tony harmoniczne, które odpowiadają tonom własnym rury nasadowej, wzmacniają się i występują wyraźnie.

Jako rurę nasadową do stroika mosiężnego, takiego jak się używa przy organach, który brzmiał w tonie *b*, użyłem jednej z większych moich kul rezonansowych, nastrojonej również na *b*. Po znacznym wzmocnieniu ciśnienia w miechu stroik odezwał się, głębiej niż zwykle, ale otrzymałem dźwięk nadzwyczaj pełny, silny, ładny i miękki, prawie całkiem pozbawiony tonów wyższych. Potrzeba było do tego niewiele powietrza, ale o znacznym ciśnieniu. Tylko ton zasadniczy dźwięku brzmiał unisono ze szklaną kulą o silnej rezonancyi; przez to ton ten stawał się potężny, a żaden z wyższych tonów harmoniczných nie mógł być wzmocniony.

Jeśli zamiast kuli szklanej używać innych rur nasadowych, posiadających większą liczbę tonów własnych, to otrzymuje się dźwięki bardziej złożone. W klarncie mamy rurę cylindryczną, która wskutek rezonancyi wzmacnia tony wyższe nieparzyste dźwięku. Natomiast słoikowate rury obojów, fagotów, trąb i rozków wzmacniają wszystkie tony wyższe aż do pewnej wysokości; mianowicie dla fal dźwiękowych o długości, nie wiele przewyższającej szerokość wylotu,

resonancya rur ustaje. Istotnie, w dźwięku klarnetu znalazłem tylko tony wyższe nieparzyste, wyraźne aż do siódmego włącznie, podczas gdy dźwięki innych wymienionych instrumentów, o rurach stożkowych, zawierały i tony parzyste.

7. Dźwięki samogłosek.

Aby pojąć skład dźwięków samogłosek, należy najpierw uwzględnić, że źródło ich znajduje się w strunach głosowych, które przy silnie brzmiącym głosie działają jak stroiki błonowe — i, jak wszelkie stroiki, dają na razie szereg wyraźnie nieciągłych i ostro od siebie oddzielonych impulsów powietrza; te impulsy, jeśli je mamy uważać jako sumę drgań prostych, odpowiadają bardzo dużej liczbie takich drgań i stąd stanowią dla ucha jakby dźwięki, złożone z dość długiego szeregu wyższych tonów harmoniczných. Za pomocą kul rezonansowych można odróżnić bardzo wysokie tony harmoniczne, nawet do szesnastego, w niskich silnie śpiewnych tonach basowych przy samogłoskach miękkich; przy bardziej wyciężonem forte wyższych nut każdego głosu ludzkiego pojawiają się wyraźniej, niż w innych narzędziach muzycznych, wysokie tony harmoniczne ze środka oktawy czterokreślnej (najwyższej oktawy nowszych fortepianów).

Można przypuszczać, że w dźwiękach krtani ludzkiej, podobnie jak w dźwiękach innych instrumentów stroikowych, wyższe tony harmoniczne słabłyby stopniowo w miarę wzrastania ich wysokości, gdybyśmy je mogli obserwować bez resonancji jamy ustnej. Istotnie dźwięki te odpowiadają dość dobrze temu przypuszczeniu w tych samogłoskach, które się wymawia z jamą ustną szeroko otwartą w kształcie lejka, a mianowicie przy ostrym *A* lub *Ā*. Ten stosunek zmienia się jednak zasadniczo wskutek resonancji jamy ustnej. Im bardziej jama ustna się zwęża — czy to za pomocą warg, czy też języka — tem w sposób bardziej zdecydowany występuje jej resonancja dla tonów o zupełnie określonej wysokości i tem silniej wzmacnia ona w dźwięku strun głosowych te tony wyższe, które się zbliżają do tonów o wyso-

kości wyróżnionej; tem bardziej natomiast inne tony zostają stłumione. Stąd więc, przy badaniu brzmienia głosu ludzkiego zapomocą rezonatorów znajdujemy wprawdzie dość regularne występowanie pierwszych sześciu do ośmiu wyższych tonów harmoniczných, ale, zależnie od rozmaitych położeń jamy ustnej, o nader rozmaitem natężeniu; to rozbrzmiewają one potężnie w uchu, to zaledwie dają się słyszeć.

W tych warunkach zbadanie rezonancyi w jamie ustnej jest rzeczą nadzwyczaj doniosłą. Najpewniejszą i najłatwiejszą metodą znalezienia tych tonów, na które jest nastrojona masa powietrza, zawarta w jamie ustnej przy jej rozmaitych układach, jakie przybiera dla wytworzenia rozmaitych samogłosek, jest ta sama metoda, jakiej się używa dla butelek i innych przestrzeni, wypełnionych powietrzem. Bierze się mianowicie drgające widełki strojowe o różnej wysokości tonu i ustawia się je przed wylotem przestrzeni powietrznej, w naszym wypadku przed otwartemi ustami; słyszymy przytem ton widełek tem głośniej, im dokładniej on odpowiada jednemu z tonów własnych zawartego w jamie ustnej powietrza. Ponieważ można dowoli zmieniać układ jamy ustnej, więc można ją zawsze przystosować do tonu danych widełek strojowych i w ten sposób można się przekonać, jaki układ należy nadać jamie ustnej, aby zawarte w niej powietrze było nastrojone na określony ton.

Rozporządzałem szeregiem widełek strojowych, przy pomocy których doszedłem przy takim badaniu do następujących wyników.

Wysokość tonów najsilniejszej rezonancyi w jamie ustnej zależy tylko od samogłoski, do wymówienia której złożono części składowe ust; zmienia się ona dość znacznie nawet przy małych zmianach barwy dźwięku samogłoski, jakie zachodzą np. w rozmaitych dyalektach tego samego języka. Natomiast tony własne jamy ustnej są prawie niezależne od wieku i płci. Naogół znajdowałem tę samą rezonancyę u mężczyzn, kobiet i dzieci. Czego brak dziecinnej lub kobiecej jamie ustnej pod względem obszerności, to może być łatwo zastąpione przez większe zwężenie wylotu,

tak że resonancja może być równie niska, jak w większej jamie ustnej u mężczyzny.

Doświadczenie wykazuje, że przy *U*, przy wymawianiu którego jama ustna jest najszersza, a usta najwęższe⁷⁾, resonancja jest też najniższa, odpowiada mianowicie *f*. Przy przechodzeniu od *U* do *O* wysokość resonancji wzrasta stopniowo tak, że przy pełno dźwięczącym, czystym *O* strój jamy ustnej odpowiada *b'*. Układ ust przy *O* jest szczególnie korzystny dla resonancji; otwór jest nie za wielki i nie za mały, a jama ustna dość obszerna.

Jeśli jamę ustną przeprowadzić stopniowo od układu dla *O* poprzez *Oa* i *Ao* do układu dla *A*, to resonancja wznosi się odpowiednio o oktawę aż do *b''*. Ten ton odpowiada północno-niemieckiemu *A*; nieco ostrzejsze *A* włochoń i anglików wznosi się aż do tonu *d'''*, a więc jeszcze o tercję wyżej.

Przy samogłoskach dotąd wymienionych nie mogłem znaleźć drugiego tonu własnego, a zgodnie z analogią do zjawisk, jakie wykazują podobne, sztucznie wytworzone przestrzenie powietrzne, trudno oczekiwać, aby istniał taki ton o dostrzegalnym natężeniu. Poniżej przytoczone doświadczenia pokażą, że resonancja tego jednego tonu wystarcza w rzeczy samej do scharakteryzowania wspomnianych samogłosek.

Przy samogłoskach *Ā*, *E*, *I* kształt jamy ustnej staje się podobny do butelki o cienkiej szyjce, jaką tworzy wąski kanał pomiędzy językiem, a podniebieniem twardym.

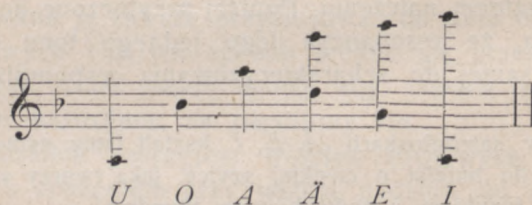
Przy użyciu butelki zakończonej wąską szyjką jako przestrzeni rezonansowej, można łatwo znaleźć dwa tony, z których jeden można uważać za ton własny szerokiej części butelki, drugi — za ton jej szyjki. Samogłoski *Ā*, *E*, *I* mają zatem po jednym wyższym i po jednym niższym tonie rezonansowym.

Tony wyższe stanowią dalszy ciąg szeregu tonów własnych samogłosek *U*, *O*, *A*. Za pomocą widełek strojowych znalazłem dla *Ā* ton g^{III} do as^{III} , dla *E* ton b^{III} . Dla *I* nie miałem odpowiednich widełek strojowych; pomóż tu jednak

mogą szmery powietrza, o których zaraz pomówię, a te dają dość wyraźnie d^{IV} .

Tę metodę wykrywania tonów podał holender *Donders*; polega ona na wymawianiu samogłosek szeptem; jama ustna wzmacnia te tony składowe szmeru, które odpowiadają jej tonowi własnemu, i te właśnie tony wprawne ucho może wysłuchać w szeptem wymówionej samogłosce; przy tej metodzie łatwo się jednak pomylić o oktawę.

Trudniej nieco określić tony własne niższe, wytwarzane w tylnej części jamy ustnej. Można do tego używać widełek strojowych, ale resonancja jest względnie słaba, gdyż głos musi przechodzić przez długą i wąską szyjkę przestrzeni powietrznej. Znalazłem w ten sposób d^{II} dla \check{A} , f^1 dla E . Dla I nie mogłem zaobserwować tonu bezpośrednio za pomocą widełek, ale na podstawie tonów wyższych wnioskuje, że leży on mniej więcej tak nisko, jak przy U , t. j. blisko f . Przy przechodzeniu od A do I niższe tony własne jamy ustnej obniżają się, podczas gdy wyższe się podnoszą. Możemy więc w następujący sposób wyrazić zapomocą nut resonansy jamy ustnej dla rozmaitych samogłosek:



Wpływ, jaki wywiera dostrojenie jamy ustnej na barwę dźwięku głosu, jest taki sam, jak ten, któryśmy już poznali przy piszczałkach strojowych sztucznie zbudowanych. Mianowicie są wzmacniane wszystkie te tony harmoniczne wyższe, które zgadzają się z tonem własnym jamy ustnej lub przynajmniej są doń dostatecznie bliskie, podczas gdy inne tony wyższe zostają mniej lub więcej stłumione⁸⁾.

O dostrzeganiu barwy dźwięku.

Bardzo czyste tony proste, których natężenie i różnica faz dają się regulować dokładnie, najlepiej otrzymywać z widełek strojowych, których ton jest wzmacniany i przekazywany atmosferze powietrznej zapomocą rury rezonansowej. Aby widełki wprawiać w ruch nieustanny i bardzo równomierny, umieszczono je pomiędzy ramionami małych elektromagnesów, jak to wskazuje fig. 24. Każde widełki *a* były osadzone zapomocą śruby na oddzielnej deseczce *dd*, spo-

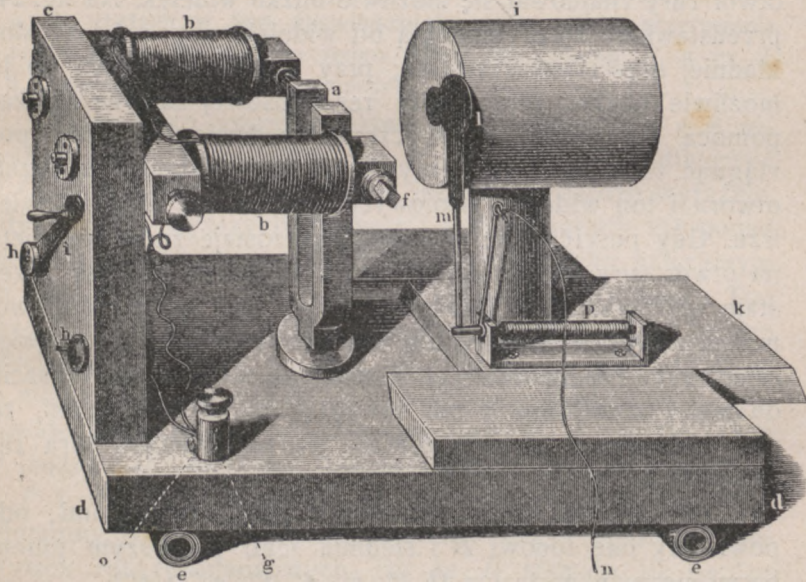


Fig. 24. Część przyrządu do syntezy głosu.

czywającej na naklejonych na jej dnie kawałkach rurki gumowej *ee*, a to w celu przeszkodzenia, aby drgania widełek nie przenosiły się wprost na stół i nie dawały się przez to słyszeć. Ramiona elektromagnesu z nawiniętym na nie drutem są oznaczone przez *bb*; jego bieguny, zwrócone ku widełkom

strojowym — przez f . Na deseczce poziomej dd znajdują się dwa zaciski g , połączone ze zwojami elektromagnesu; służą one do przytwierdzenia drutów, przez które doprowadza się prądy elektryczne. Aby widełki wprowadzić w żywe drgania, prądy te muszą posiadać natężenie okresowo zmienne.

Jeśli przy takim ustawieniu wprowadzi się widełki w drganie, to słyszy się ich ton bardzo słabo, gdyż nie mają one sposobności udzielania swych drgań masie powietrza ani też otaczającym ciałom stałym. Jeśli ton ma być słyszany głośno, to należy przybliżyć do widełek strojowych rurę rezonansową i , dostrojoną do tonu widełek. Ta rura rezonansowa jest umocowana na deseczce k , którą można przesuwając wzdłuż odpowiedniego wycięcia w desce dd tak, aby otwór rury znajdował się możliwie blisko widełek. Na fig. 24. przedstawiono rurę odsuniętą od widełek, aby pokazać dokładniej części poszczególne; przy użyciu przysuwa się ją możliwie blisko. Wylot rury rezonansowej zamyka się zapomocą pokrywy l , umieszczonej na dźwigni m . Gdy pociągnąć za nitkę n , to pokrywa zostaje odsunięta z przed otworu i ton widełek strojowych udziela się silnie powietrzu. Gdy puścić nitkę, to pokrywa zostaje znów nasunięta na otwór rury zapomocą sprężyny p , i ton widełek przestaje być słyszany. Otwierając otwór rury tylko częściowo, można dowolnie osłabiać ton widełek. Wszystkie nitki, otwierające rury rezonansowe od rozmaitych widełek, idą wreszcie do małej klawiatury i tak są połączone z klawiszami, że przy naciśnięciu klawisza otwiera się odpowiednia rura rezonansowa.

Początkowo rozporządzałem 8 takimi widełkami; odpowiadały one tonowi B i siedmiu jego pierwszym tonom harmonicznym wyższym ($b, f', b', d'', f'', as''$ i b'').

Prądy okresowe, potrzebne do poruszania widełek strojowych, otrzymywano zapomocą przyrządu, którego urządzenie pokazuje schematycznie rys. 25. Do obu ramion widełek strojowych są przymocowane śrubki O i K , zakończone drucikami platynowymi. Drucik śrubki K ledwo dotyka powierzchni rtęci w naczyniu cylindrycznym; drucik O jest cokolwiek wzniesiony ponad rtęć

w drugim cylindrze. Jak widać z kierunku drutów, w położeniu takim prąd z ogniwa E przechodzi przez dwa elektromagnesy M i M' i powraca przez K i przez kamerton do ogniwa. Elektromagnesy przyciągają wówczas ramiona widełek, K wynurza się z rtęci, O się w nią pogrąża, i prąd płynie już nie przez elektromagnesy, lecz wzdłuż linii kropkowanej. Wskutek okresowego ruchu widełek proces ten powtarza się periodycznie, i przyrząd rezonansowy, włączony w miejscu, oznaczonym linią kropkowaną, otrzymuje prądy, przerywane w równych odstępach czasu. Widełki są nastrojone na ton B , najniższy z tonów widełek strojowych, użytych w tem doświadczeniu; jeden okres przerywania prądu przypada więc na jedno wahnięcie widełek B , a na 2, 3... wahnięcia widełek następnych.

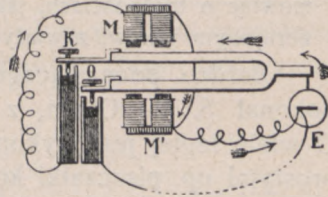


Fig. 25.

Kamerton do prądów przerywanych.

Pierwszego szeregu doświadczeń dokonałem z 8 widełkami strojowymi od B do b'' . Można było odtworzyć U, O, \ddot{O} , a również i A , ostatnie jednak nie bardzo wyraźnie, gdyż brakło wyższych tonów c''' i d''' , leżących tuż ponad tonem charakterystycznym b'' , które w dźwięku naturalnym tej samogłoski są też jeszcze wyraźnie wzmacniane. Ton zasadniczy B tego szeregu, wzięty oddzielnie, dawał bardzo głucho U , znacznie bardziej głucho, niż można otrzymać w mowie. Dźwięk stawał się podobniejszy do U , gdy się dodawało słabo drugi i trzeci ton wyższy: b i f' . Bardzo ładne O można było otrzymać, biorąc silnie b' , a obok tego słabo b, f' i d'' . Ton zasadniczy B musiał być przytem nieco stłumiony. Gdy zmieniałem wówczas nagle położenie pokrywek rur rezonansowych, tak że B stawało się bardzo silnem, natomiast wszystkie tony wyższe słabły, to przyrząd wymawiał bardzo dobrze i wyraźnie naprzód O , potem U .

Ten sam przyrząd służył Helmholtz'owi do wykazania, że te same tony, o tem samym natężeniu wytwarzają zawsze ten sam dźwięk złożony, niezależnie od tego, czy fazy ich drgań są jednakowe, czy też przesunięte jedna względem drugiej.

Bardzo proste doświadczenie na syntezę samogłosek z tonów prostych opisuje Helmholtz w innym miejscu swej książki, mówiąc o trudnościach, jakie nastęrcza rozróżnianie uchem nieuzbrojonym tonów, zawartych w dźwięku złożonym.

Bardzo pouczającego w tym względzie doświadczenia dokonał S. G. Ohm, z dźwiękami skrzypiec mianowicie. O wiele lepiej jest wykonywać to doświadczenie z tonami prostymi np. piszczałki krytej. Najlepiej udaje się to za pomocą dęcia w butelkę szklaną o kształcie, wyobrażonym na fig. 26; butelkę taką można bardzo łatwo przystosować do doświadczenia. Zapomocą pręta *c* przytwierdza się do butelki rurkę gutaperkową *a* w odpowiednim położeniu. Wylot rurki, zwrócony ku butelce, został zmięczony poprzednio w ciepłej wodzie i spłaszczony tak, że tworzy



Fig. 26.

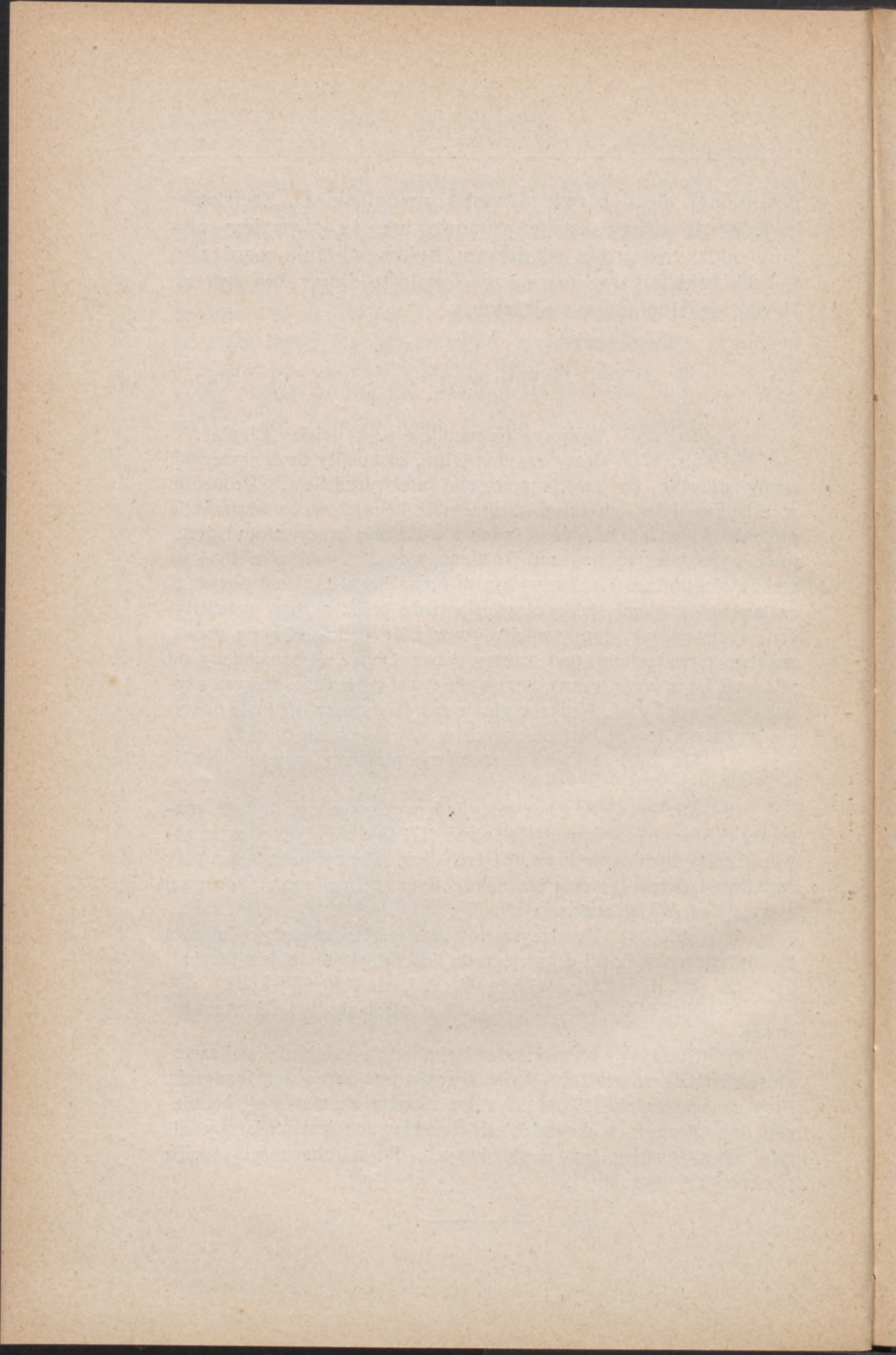
Butelka, pozwalająca odtworzyć samogłoskę *U*.

wązką szparę, z której powietrze wypływa ponad wylotem butelki. Jeśli rurkę połączyć za pomocą kieszki gumowej z miechem i dąć w butelkę, to wydaje ona głuchy ton, podobny do samogłoski *U*; jest on jeszcze bardziej wolny od tonów wyższych, niż dźwięk piszczałki krytej, towarzyszy mu tylko nieco szmeru powietrza. Butelkę taką stroi się niżej, zamykając częściowo otwór przez nałożenie małej płytki drewnianej; stroi się ją wyżej, nalewając oleju lub roztopionego wosku; w ten sposób można, jak kto chce, powodować małe zmiany w jej stroju. Jedną taką większą butelkę nastroiłem na *b*, drugą mniejszą na *b'* i połączyłem je z tym samym miechem tak, że przy poruszeniu miecha odzywały się jednocześnie. Obie razem w ten sposób połączone dawały dźwięk o tonie *b*, t. j. o tonie butelki niżej

nastrojonej, ale o barwie dźwięku samogłoski *O*. Zaciskając to jedną to drugą kiszkę gumową tak, że słyszałem oba tony oddzielnie jeden po drugim, byłem w stanie rozróżnić je, gdy brzmiały razem; ale nie trwało to długo: ton wyższy zlewał się stopniowo z niższym.

UWAGI.

- 1) (Str. 123) Życiorys Helmholtz'a p. w dziale „Ciepła“.
- 2) (Str. 127) Jerzy Szymon Ohm, znakomity fizyk niemiecki, znany głównie ze swych prac nad elektrycznością. Urodzony w Erlangen, jako syn ślusarza, pracował początkowo w warsztacie ojca; dzięki wybitnym zdolnościom i wytrwałej pracy zdobył gruntowe wykształcenie fizyczne i matematyczne. Zmarł w r. 1854 na stanowisku profesora uniwersytetu w Monachium. Badania doświadczalne nad prądami elektrycznymi, poparte przez analizę matematyczną tych zjawisk, doprowadziły go w r. 1826 do odkrycia prawa, znanego powszechnie pod nazwą prawa Ohm'a. Obznajmiony od młodych lat z pracą ręczną, sam wykonywał przyrządy, których używał do swych badań. Nauka o głosie zawdzięcza mu doniosłe odkrycie wyższych tonów harmoniczných w dźwiękach złożonych.
- 3) (Str. 130) Zjawisko rezonancyi pierwszy wyjaśnił Galileusz (p. str. 32).
- 4) (Str. 131) Powstawanie linii węzłowych w płytach rozmaitej postaci badał Ernest Chladni (1756—1827), któremu też zawdzięczamy metodę wykrywania tych linii. Figury, powstające przy tym doświadczeniu, noszą też nazwę figur Chladni'ego. (Porównaj z wyjątkiem z Galileusza na str. 33).
- 5) (Str. 134) Duodecyma, dwunasty dźwięk gamy = oktawa kwinty; stosunek ilości drgań jego do ilości drgań toniki jest jak 3 : 1.
- 6) (Str. 135) Ob. Witkowski, T. I, str. 496 (Wyd. II).
- 7) (Str. 143) Porów. str. 133 o strojeniu butelki rezonansowej.
- 8) (Str. 144) Wyniki badań Helmholtz'a nad dźwiękami samogłosek zostały sprawdzone przez Hermann'a zapomocą fonografu. Przy zmianie szybkości obrotu walca fonografu zmienia się brzmienie samogłosek, co dowodzi, że charakter ich jest związany nie tyle ze stosunkiem tonów składowych, ile z obecnością tonów o określonej wysokości.

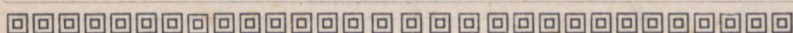


CIEPŁO.

OPRACOWAŁ DR. M. GROTOWSKI.

CHIEF

FRANCIS M. [unclear]



TERMOMETRYA.

Daniel Gabryel Fahrenheit.

(1686—1736).

Termometryę, we współczesnem tego słowa znaczeniu, wiążemy zazwyczaj z nazwiskiem Fahrenheit'a, który przez wprowadzenie jednostajnej skali jakby uporządkował chaos, panujący podówczas w tej gałęzi pomiarów fizycznych. Samo pojęcie temperatury, jako czegoś, co wyznacza stan cieplny ciała, istniało prawdopodobnie znacznie wcześniej, niż powstał wyraz „temperatura“ i nim zaczęto ją mierzyć. Wpływ temperatury na objętość ciał, i to nie tylko stałych i ciekłych, lecz również i gazowych, np. powietrza, był już dobrze znany Grekom.*) Stąd jeden był tylko krok do użycia tej zmiany objętości jako wskaźnika zmian stanu cieplnego ciała. Pierwszym tego rodzaju termometrem był, jak się zdaje, termometr powietrzny, zbudowany przez Galileusza po roku 1592. Wybór powietrza na ciało termometryczne był prawdopodobnie uwarunkowany wielką rozszerzalnością powietrza. Tę jednak dużą swoją czułość okupywał termometr Galileusza znacznymi brakami: wskazania jego były zależne od panującego ciśnienia, pozatem skala jego była zupełnie dowolna. Był to więc zwykły termoskop w najogólniejszem tego słowa znaczeniu. Dokładniejszymi były termometry, zwane florenckimi, opracowane przez Florencką Akademię w połowie 17-ego wieku. W termometrach tych jako ciecz termometryczna był używany alkohol. Dokładny opis

*) Patrz E. Mach. Die Principien der Wärmelehre. 2 wydanie. J. A. Barth. Leipzig. 1900, str. 5.

i krytykę tych termometrów czytelnik znajdzie w pomieszczonych niżej ustępach z prac Réaumur'a i Celsiusus'a. Do tych właśnie termometrów zastosował rtęć pierwszy, jak się zdaje, Fahrenheit.

Fahrenheit (Daniel Gabryel) urodził się w Gdańsku w 1686 r. Był więc z tego tytułu obywatelem Rzeczypospolitej Polskiej. Nauki jednak pobierał w Holandyi i tam na stałe osiadł. Z zawodu był szklarzem i utrzymywał się z budowania narzędzi meteorologicznych. W 1724 roku pomieścił w Philosophical Transactions 5 rozpraw po łacinie. Jedna z nich, z której wyjątki niżej umieszczamy, dotyczyła właściwie badań nad krzepnięciem wody, stanowiąc jakby uzupełnienie pierwszej z rzędu rozprawy, omawiającej punkt wrzenia pewnych cieczy. W podanej przez nas rozprawie znajduje się nawiasowo poniekąd wtrącony ustęp o nowym termometrze, którego skala jest wyznaczona przez trzy stałe punkty. Poza temi 5 rozprawami Fahrenheit nic więcej nie ogłosił. Umarł w Amsterdamie w roku 1736, doczekawszy się uznania dla swej pracy ze strony „Towarzystwa Królewskiego“ w Londynie, które go wybrało na swego członka.

Doświadczenia i spostrzeżenia nad zamarzaniem wody w próżni*).

(Philosoph. Trans. Londyn. Tom XXIII. Rok 1724, str. 78—84.)

Między wielu zadziwiającemi zjawiskami przyrody krzepnięcie wód wydawało mi się zawsze rzeczą nie małej wagi; często pragnąłem zbadać, jakie byłoby działanie zimna, gdyby wodę umieścić w przestrzeni, pozbawionej powietrza. I ponieważ 2, 3 i 4 marca (starego stylu) 1721 roku sprzyjały takim doświadczeniom, w powyżej oznaczonych dniach były wykonane niżej pomieszczone spostrzeżenia i doświadczenia.

Zanim przejdę do opisu doświadczeń, muszę w kilku słowach wspomnieć o termometrach, które przygotowałem, jak również o podziale ich skali.... Sporządziłem dwa rodzaje termometrów: jeden z nich był napełniony alkoholem, drugi rtęcią. Długość była stosownie do celu rozmaicie wybierana. Wszystkie jednak są pod tym względem podobne, że zgadzają się co do liczby stopni na skali i zawierają swoje zmiany w określonych granicach. Skala tych termometrów, które służą jedynie do spostrzeżeń metereologicznych, zaczyna się u 0°, kończy się przy 96°. Ta skala oparta jest na wyznaczeniu trzech stałych punktów, które się otrzymuje w następujący sposób: pierwszy, najniższy, leży na początku skali i jest wyznaczony przez mieszaninę lodu, wody i sal-

*) Tłómaczono z przekładu niemieckiego w „Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften“ № 57, str. 6 i nast.

miaku lub soli morskiej; jeżeli się zanurzy termometr w tę mieszaninę, to ciecz spada w dół do punktu, który jest oznaczony przez 0° . To doświadczenie udaje się lepiej w zimie, niż w lecie¹⁾. Drugi punkt otrzymujemy, gdy zmieszamy wodę z lodem bez wspomnianej soli; gdy się pogrąży termometr w tę mieszaninę, ciecz stanie przy 32 stopniu i ten punkt nazywam punktem początkowym zamarzania, gdyż stojące wody powlekają się już cienką warstwą lodu, kiedy w zimie ciecz termometru dojdzie do tego stopnia. Trzeci punkt znajduje się przy 96 stopniu, i alkohol rozszerza się aż do tego stopnia, gdy się włoży termometr do ust lub pod pachę zdrowego człowieka i trzyma go się tam tak długo, aż przyjmie całkowicie temperaturę ciała²⁾.

Skala termometrów takich, które mają służyć do wyznaczania punktu wrzenia cieczy, zaczyna się również przy 0° , sięga jednak 600 stopni, gdyż przy tej mniej więcej temperaturze rtęć (którą jest napełniony termometr) sama zaczyna wrzeć.

Aby termometr prędko odczuwał wpływ każdej zmiany temperatury, używałem zamiast kul walców szklanych, które, dzięki swej większej powierzchni, pozwalają ciepłu prędzej przepływać.

Kula szklana³⁾ miała w średnicy około cala. Gdy była opróżniona⁴⁾ i mniej więcej do połowy napełniona wodą deszczową, poddałem ją działaniu zimna 2 marca 1721 roku. Temperatura powietrza według obok postawionego termometru wynosiła 15 stopni⁵⁾. Po upływie godziny znalazłem, że woda w kulce jeszcze jest płynną, i sądziłem, że zimno jeszcze niedostatecznie przeniknęło wodę; lecz, ażeby pozbyć się jakichkolwiek wątpliwości, zostawiłem kulkę przez całą noc na świeżem powietrzu. Następnego dnia 3 marca, rano o 5-ej godzinie znalazłem, że woda ciągle jeszcze jest płynną, termometr jednak wskazywał tę samą temperaturę; przypisałem tedy to nieprzewidziane zjawisko nieobecności powietrza. Dla potwierdzenia prawdziwości tego objaśnienia złamałem końiec⁶⁾, aby powietrze napowrót wplynęło do środka; gdy się

to stało, całą masę wodną poprzerynały nadzwyczaj prędko cienkie blaszki lodu. Chciałem przed powtórzeniem doświadczenia stwierdzić za pomocą innego eksperymentu, czy te blaszki lodu pływająby po wodzie; w tym celu rozbiłem kulkę i wysypałem trochę lodu do szklanki, napełnionej wodą; zobaczyłem, że pływają⁷⁾.

Pragnąłem gorąco zbadać uważnie powstawanie blaszek w szklanem naczyniu, i gdy w tym celu przenosiłem naczynie z pokoju mieszkalnego do miejsca, gdzie były wykonywane doświadczenia, chciałem wejść po kilku stopniach, ale opuściłem jeden stopień tak, że naczynie zostało silnie wstrząśnięte, i w tej samej chwili całą masę wodną poprzerynały blaszki lodu. Przy tem przypadkowym zdarzeniu dostrzegłem, że lód w dostatecznie zimnej wodzie może powstać przez wstrząśnienie, i pragnąłem bardzo następnego dnia ustalić za pomocą doświadczenia, czy również w próżni zamarzanie może powstać przez wstrząśnienie.

Gdy kulka była cokolwiek wstrząśnięta, ujrzałem ku memu największemu zachwyтови to samo widowisko i odrazu poznałem błędność mojego wniosku, w którym przypisałem stan ciekły nieobecności powietrza....

UWAGI.

¹⁾ (Str. 156) Fahrenheit nigdzie nie podaje procentowego składu tej mieszaniny. Trudno też wyjaśnić przyczynę różnicy wyników, otrzymanych w różnych porach roku.

²⁾ (Str. 156) W tej rozprawie Fahrenheit nic nie mówi o temperaturze wrzenia wody. Temperatura ta, oznaczona stopniem 212, jest przytoczona między temperaturami wrzenia innych cieczy w rozprawie, o której wspominaliśmy wyżej — p. t. „Badania nad punktem wrzenia pewnych cieczy“. Zdaje się, że liczba 180 stopni, oddzielających temperaturę topnienia lodu i temperaturę wrzenia wody, została przez Fahrenheit'a otrzymana przypadkowo.

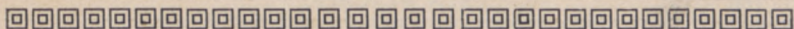
³⁾ (Str. 156) Użyta do doświadczeń.

⁴⁾ (Str. 156) Z powietrza.

⁵⁾ (Str. 156) 15 stopni według skali Fahrenheit'a równa się — $9\frac{1}{9}$ według skali Celsius'a.

⁶⁾ (Str. 156) Rurki, połączonej z kulą.

⁷⁾ (Str. 157) Jest to zjawisko przechłodzenia wody; po złamaniu końca rurki powietrze wpływające wstrząsnęło cieczą. W dalej pomieszczonej ustępie Fahrenheit zupełnie trafnie objaśnia to zjawisko.



René Antoine Ferchault De Réaumur.

(1683—1757).

Wprowadzenie przez Fahrenheit'a skali, ściśle wyznaczonej przez trzy punkty stałe, miało dużą doniosłość praktyczną, gdyż dawało możność uzgodnienia wszystkich termometrów w sposób stosunkowo prosty. Jednak termometr Fahrenheit'a był zwyczajnym termoskopem i Fahrenheit nie kusił się nawet, jak się zdaje, o naukowe uzasadnienie swej skali. Próbę stworzenia skali, zależnej od cieplnych własności ciał, przedsięwziął dopiero Réaumur.

Réaumur (René Antoine Ferchault seigneur de Réaumur, des Angles et de la Bermondière) urodził się w roku 1683 we Francji. Początkowo studyował prawo, później dopiero poświęcił się technice. Prace jego, dotyczące budowy termometru, przypadają na drugą połowę jego życia, gdy już był ogłosił wiele prac z dziedziny techniki. Umarł w roku 1757.

Powzięta przez Réaumur'a myśl utworzenia takiej skali termometrycznej, któraby bezpośrednio wskazywała, jakim zmianom podlega pod wpływem temperatury dana własność ciała termometrycznego, była bardzo szczęśliwa. Réaumur chciał tym sposobem usunąć zbyt daleko posuniętą nieoznaczoność wskazań współczesnej termometrii. Jednak wykonanie tego pomysłu można uważać za niezupełnie udane. Zdaje się, że Réaumur'owi nie były znane prace Fahrenheit'a, inaczej trudno byłoby zrozumieć, dlaczego wybrał zamiast rtęci ciecz o składzie tak zmiennym, jak spirytus. Tu leży główne źródło niezadawalających wyników pracy Réaumur'a; dzięki temu oznaczenie temperatury wrzenia wody nie mogło mu się powieść, gdyż spirytus wre w temperaturze niższej; to, co Réaumur uważał za temperaturę wrzenia wody, było jedynie temperaturą wrzenia spirytusu. Termometry, przygotowane ściśle według wskazań Réaumur'a, dawały, według opinii

spółczesnych, przy badaniu stosunków klimatycznych wskazania wprost nieprawdopodobne. Wkrótce też wszedł w powszechne użycie termometr rtęciowy, którego skala była wyznaczona przez dwa stałe punkty, a nie przez jeden, jak u Réaumur'a; z pomysłów Réaumur'a w termometrze tym był urzeczywistniony tylko jeden i to taki, do którego Réaumur nigdy żadnej wagi nie przywiązywał i wspominał o nim tylko nawiasowo, a mianowicie — oznaczenie temperatury wrzenia wody liczbą 80. Taki termometr nosi do dziś dnia nazwę „termometru o skali Réaumur'a.“ Mimo jednak tych poważnych braków, jakie posiada praca Réaumur'a, i mimo nieznośnej chwilami rozwlekłości wykładu i przeładowania go szczegółami technicznymi, dzisiaj jeszcze z korzyścią i przyjemnością czyta się jego prace. Widać w nich sumiennego i bystrego obserwatora, nie pomijającego żadnych drobiazgów nawet, o ile mogą one w czemkolwiek pomódz do wyjaśnienia zjawiska, człowieka, lubującego się w przewyciężaniu trudności technicznych i, co najważniejsza, miłującego swoją pracę i wierzącego w jej powagę.

Prawidła budowy termometrów ze skalami, dającymi się porównywać, które dają pojęcie o zimnie i ciepłe oraz mogą być sprowadzone do znanych miar*).

(Hist. et Mém. de l'Académie de Paris. 1730).

Chociaż wiemy z jednej strony, jak ucieśnym i pożytecznym jest ten przyrząd¹⁾, to jednak z drugiej strony znamy jego niedoskonałość. Bieg wszystkich prawie termometrów jest różny; chociaż są one wystawione na to samo powietrze, ciecz w jednym podnosi się wyżej lub opada niżej, niż w drugim, chociaż powinny wskazywać ten sam przyrost lub ubytek ciepła.... Ponieważ wszystkie one głoszą, że się tak wyrazimy, co innego, ostatecznie rozumiemy wskazania takiego tylko termometru, któryśmy sami obserwowali w ciągu lat wielu; każdy inny pozostaje niezrozumiałym.... Ale nie tylko rozmaitych termometrów mowa jest niezrozumiała, również wskazania własnego termometru każdy uważa za niepewne w wysokim stopniu. Znamy miejsca największego ciepła i największego zimna, wiemy, ile stopni leży pomiędzy nimi, ale ani pojedynczy stopień, ani cała rozciągłość²⁾ nie daje prawdziwej miary.... Nie chcemy tutaj objaśniać wszystkich dotychczas wynalezionych termometrów, byłaby to bardzo wielka praca; używamy obecnie bardzo

*) Tłómaczone z przekładu niemieckiego w „Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften“ № 57, str. 19 i nast.

prostej konstrukcyi i przytem jednej z najstarszych, która też najwięcej bywa stosowana: mam na myśli tak zwany termometr florencki, który się wszędzie codziennie widuje. Składa się on z pustej, na górnym końcu szczelnie zamkniętej kuli szklanej, przytopionej do długiej rury szklanej. Jak wiadomo, kula i część rury szklanej są napełnione wysoko-kiem, zabarwionym na czerwono; gdy wzrasta ciepło w otoczeniu kuli, wtedy rozszerza się znajdujący się w niej wyskok i podnosi się w rurze szklanej; ta sama ciecz kurczy się, kiedy traci ciepło.

Rurka szklana jest przymocowana do cienkiej płytki, na której się umieszcza papier z wydrukowanymi stopniami. W ten sam sposób zadrukowany papier służy dla rozmaitych termometrów, jak gdyby ilość ich stopni była ta sama.

Z tej konstrukcyi wynika — i to jest doskonale znane —, że, gdy następuje zmiana temperatury powietrza, w rozmaitych termometrach są przebiegane rozmaite stopnie, zarówno przy podnoszeniu się, jak i przy opadaniu, odpowiednio do stosunku między średnicą kuli i średnicą rury. Stąd staje się jasnym, że niektóre termometry są mało czułe, inne zaś za bardzo; z braku przestrzeni dla cieczy ciśnienie rozszerzającej się cieczy tłucze czasami rurę lub kulę; w niektórych termometrach ciecz opada czasami zupełnie do kuli, zanim jeszcze nastąpi surowe zimno. Że w podobnych okolicznościach niemożliwym jest znalezienie termometru o proporcjonalnym biegu, jest rzeczą oczywistą, gdyż jest niemożliwym otrzymanie dwu zupełnie równych kul o równych średnicach i równem zaokrągleniu, — gdyż takie kule są zawsze niedoskonałe. Sporządzić rury oznaczonej średnicy jest niemniej trudno...

Jest jeszcze jedno źródło różnic, na które się niedostatecznie zwraca uwagę, przynajmniej mnie nie jest znany żaden środek zaradczy. Mam na myśli gatunek wysokoku, którym napełnia się kulę termometru. Ciecze bynajmniej nie rozszerzają się równomiernie przy równem ogrzaniu. O tem bardzo dobrze wiadomo, i naumyślnie wybrano wyskok, gdyż najczulej, za wyjątkiem powietrza, odczuwa ciepło

i zimno. Wyskok rozszerza się znacznie silniej, niż woda. Najbardziej oczyszczony wyskok jest przecie jedynie mieszaniną palnej substancji, essencji lub oleju eterycznego z wodą... Silną rozszerzalność wyskoku... należy więc przypisać zawartemu w nim olejowi eterycznemu; im więcej go zawiera wyskok, tem silniej będzie się rozszerzał... Aż do dziś dnia napełniano termometry nie wyskokiem oznaczonej i znanej jakości, lecz używano przypadkowo otrzymanego...

Jest jednak rzeczą zasadniczą, gdy się chce otrzymać na rozmaitych termometrach stopnie ciepła i zimna porównywalne ze sobą, aby termometry były napełnione tą samą cieczą lub dwoma cieczami, których stosunki rozszerzalności są znane... Wreszcie, nawet wtedy, gdy się używa cieczy, której rozszerzalność jest znana, nie osiąga się jeszcze wszystkiego; ciecze nie mają stałej objętości, jak również ciała stałe, ale te ostatnie nie wykazują tak silnych i nagłych zmian, jak pewne ciecze; idą one stale od jednego stopnia rozszerzenia do drugiego i powracają napowrót do zgęszczenia zależnie od powietrza, które na nie działa. Otóż, idzie o to, aby znaleźć wewnątrz granic rozszerzania i zgęszczania się cieczy, które się chce zastosować w termometrze, taką temperaturę, która mogłaby być wytworzona we wszystkich krajach i dałaby punkt, od któregooby się zaczynało lub na którymby się kończyło liczenie stopni. Piękna własność wody, którą odkrył p. Amontons³⁾, polegająca na tem, że nie może ona być ogrzana powyżej temperatury wrzenia, daje taki punkt stały, to znaczy stopień rozszerzenia, który można mieć wszędzie i który wszędzie jest ten sam. Użył też on tej własności wody do budowy termometru, który daje we wszystkich krajach te same wskazania⁴⁾.

Używam silnie rozszerzającej się cieczy, mianowicie wyskoku; ponieważ jednak istnieje niezliczona ilość jego gatunków, wybieram taki, który można mieć o każdej porze i w każdym kraju. Ustalam własności tego rodzaju wyskoku tak, że jest rzeczą niemożliwą nieodróżnić go od innych. Doprowadzam wybrany wyskok do oznaczonej objętości

w granicach jego rozszerzalności. To mogłoby być uskutecznione (przy zachowaniu pewnych środków ostrożności, o których później będzie mowa) z pomocą temperatury wrzenia wody⁵⁾, ja wszakże wolałem sztuczne zamrożenie wody, to znaczy, wody, którą się sztucznie stęży; p. Amontons zrobił to samo. Stopień rozszerzenia lub skurczenia, który przybiera wyskok dzięki temu lodowi, może być uważany za punkt stały i nadaje się do odtworzenia we wszystkich prawie krajach świata, gdzie są używane termometry.

— — — — —

Gdy wyskok jest dobrze określony i doprowadzony do takiej objętości, która odpowiada stałemu punktowi temperatury, to pozostaje jeszcze takie skalibrowanie wszystkich innych termometrów,... aby te same stopnie na rozmaitych termometrach zawsze wskazywały tę samą miarę temperatury, i aby ta miara odpowiadała pewnemu wyobrażeniu, podczas gdy zwykłym stopniom termometru nie odpowiada żadne wyobrażenie... Jak mi się zdaje, mielibyśmy wszystko, czego sobie tylko można życzyć, gdyby każdy stopień dawał dokładne wyobrażenie stopnia rozszerzania lub kurczenia się cieczy, gdyż działaniem ogrzania jest zwiększenie objętości. Czyż można lepiej mierzyć następujące po sobie stopnie ciepła, niż za pomocą stopni rozszerzania się cieczy; to zjawisko daje rzeczywisty obraz stopni ciepła... W naszym np. wypadku, gdzieśmy mieli 500 części⁶⁾, każdy stopień będzie wynosił $\frac{1}{500}$, i na takie części, na takie stopnie będzie podzielona cała rura.... Gdy ciecz podniesie się o 1, 2, 3 lub, jeśli kto woli, o 20 stopni ponad znaczek⁷⁾, będzie to wskazywało, że objętość, która była początkowo 500, teraz jest 501, 502, 503 lub, jeśli kto woli, 520.... Gdy przeciwnie zimno wywołało opuszczenie się o 10 stopni pod oznaczony punkt, to wiem, że zimno zgęszcza ciecz, i objętość zmniejszyła się o $\frac{1}{50}$.

— — — — —

Wszystko, co fizycznie ma być zmierzone, może być oznaczone jedynie z przybliżoną dokładnością, która nam jednak wystarcza. Jedna okoliczność towarzyszy naszemu

sprawdzaniu wyskoku, wpływając szkodliwie na pożądaną ścisłość. Ciecz czy to zgęszczona w lodzie, czy też rozszerzona we wrzącej wodzie, powinna być też znajdować się ciągle w naczyniach równej pojemności; ale z jakiegokolwiek materiału byłoby zrobione naczynie, podlega ono samo zgęszczeniu i rozszerzeniu. Jeżeli zimno lodu działa na kolbę, to kurczy się ona i zmniejsza swoją pojemność; gdy znów ciepło wrzącej wody powiększa pojemność, rozszerza kolbę. Kolba, która przy umiarkowanym cieple zawiera 1000⁸⁾, nie zawiera ich już tyle w zamrożonej wodzie i zawiera więcej, gdy jest ogrzana do ciepła wrzenia. Mierzmy zawartość kolby w powietrzu o zwykłej temperaturze; znaczek przeto, który nazywamy 1000, nie odpowiada tej objętości, gdy kolba jest ochłodzona w wodzie; i miejsce na kolbie, które we wrzącej wodzie jest oznaczone przez 1075 lub 1080, posiada pojemność, przewyższającą tę liczbę. Nie można uniknąć tych odchyłeń w obydwu kierunkach; ale sądzę, że można ich wielkość łatwo ocenić i wtedy poczynić poprawki w wynikach badań lub przynajmniej ocenić, czy opłaca się uwzględnić je.

Ażeby otrzymać termometry, któreby posiadały stopnie, mogące być dokładnie i wygodnie porównywane we wszystkich krajach, musieliby się uczeni porozumieć co do jakości wyskoku: powinni by postawić żądanie, aby wszystkie termometry były napełnione tym wyskokiem, który został uznany za odpowiedni... Jakikolwiek wyskok... wybierzemy, zawsze należy oznaczać jego rozszerzalność na płytce termometru. Można np. u góry napisać: wyskok, którego objętość przy zamrażaniu wody wynosi 1000, a rozszerzona przez wodę wrzącą 1080⁹⁾. W tym wypadku, jeżeli termometr jest dostatecznie długi, znaczek rozszerzenia w punkcie wrzenia wody będzie oznaczony z prawej strony przez 80, z lewej — przez 1080. Gdy termometr nie jest tak długi, od razu się poznaje brakujące stopnie.

U W A G I.

¹⁾ (Str. 161) Termometr.

²⁾ (Str. 161) Skali.

³⁾ (Str. 163) Amontons Wilhelm (ur. 1663 w Paryżu, um. 1705), jeden z najwybitniejszych fizyków francuskich znalazł w 1705 roku, że ciśnienie powietrza wzrasta o $\frac{1}{3}$, gdy kula, zawierająca badane powietrze i znajdująca się początkowo w zimnej wodzie, jest włożona do wrzącej wody. Ze stałości tego wzrostu ciśnienia Amontons wyprowadził wniosek o stałości punktu wrzenia. Według von Oettingen'a, który opatrzył przypisami niemieckie tłumaczenie niniejszej pracy Réaumur'a, już Halley w 1693 r. zauważył stałość punktu wrzenia. W przytoczonej niżej pracy Celsius'a jest ciekawy wyjątek z pracy Newton'a, wskazujący, że Newton także uważał punkt wrzenia za stały.

⁴⁾ (Str. 163) Termometr Amontons'a, o którym wspomina Réaumur, był termometrem powietrznym.

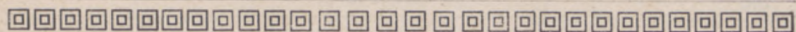
⁵⁾ (Str. 164) W jednym z dalszych ustępów, któregośmy nie tłumaczyli, znajduje się opis tych „środków ostrożności“, jakie przedsięwziął Réaumur dla nagrzania wysokoku do temperatury wrzenia wody. Z opisu tego wynika, że wyskok był niewątpliwie przegrzany, jaką jednak posiadał temperaturę, to pozostanie na zawsze nieoznaczonym.

⁶⁾ (Str. 164) Wysokoku.

⁷⁾ (Str. 164) Temperatury zamarzania wady.

⁸⁾ (Str. 165) Części.

⁹⁾ (Str. 165) Jest to jedyne miejsce pracy Réaumur'a, gdzie wyraźnie występuje liczba 80 dla oznaczenia temperatury wysokoku we wrzącej wodzie. Jak widać z tekstu, miała ona dla Réaumur'a istotne znaczenie: o 0,08 swej początkowej objętości powiększała się w danej temperaturze objętość wysokoku, który Réaumur proponował używać w termometrach. W t. zw. skali Réaumur'a termometru rtęciowego liczba ta jest całkowicie dowolna.



Andreas Celsius.

(1701—1744).

Pomysł Réaumur'a, jak to już wyżej było zaznaczone, nie przyjął się. Jedynym rezultatem było pojawienie się niewygodnej 80-stopniowej skali; w dodatku temperatura wrzenia wody nie była na niej ściśle oznaczona. To skłoniło fizyków do podjęcia na nowo myśli Fahrenheit'a o używaniu rtęci, jako cieczy termometrycznej, i o wyznaczeniu skali przez wybranie pewnej ilości stałych punktów. Myśl tę podjął i dokładnie opracował Celsius.

Celsius (Andreas), urodzony w 1701 roku w Upsali, zmarł tamże w 1744 r. Poza kilkoletnimi podróżami do Niemiec, Francji i Włoch, nie opuszczał on rodzinnego miasta, gdzie do zgonu zajmował katedrę astronomii na tamtejszym uniwersytecie. Oprócz prac astronomicznych pozostawił jeszcze drobne przyczynki, tyczące się meteorologii i magnetyzmu ziemskiego. Praca, którą niżej w wyjątkach podajemy, jest, zdaje się, jedyną jego pracą z dziedziny czysto fizycznej. Skala termometryczna, podana przez Celsius'a, różni się nieco od obecnie używanej: Celsius oznaczał liczbą 100 temperaturę zamarzania wody, liczbą 0—temperaturę wrzenia wody. Skala ta później została odwrócona, jak się zdaje, przez Strömer'a i Eckström'a, przyczem nie jest wykluczone, że za wiedzą, zgodą, a może i inicjatywą Celsius'a. Niżej przytoczone urywki jego rozprawy mogą służyć do dziś dnia za wzór pod względem jasności i logiczności wykładu.

Spostrzeżenia, dotyczące dwu stałych stopni na termometrze *).

(Sprawozdania szwedzkiej Akademii, tom IV, 1742, str. 197—205).

Najpowszechniejszymi ¹⁾ są tak zwane termometry florenckie, które przychodzą do Szwecyi z Niemiec i o tyle są zupełnie bezużyteczne, że nie dają żadnej określonej miary stopnia ciepła i zimna.... Błędy te zaczęto następnie usuwać po części w ten sposób, że szukano na termometrach jednego stałego punktu i od niego, według przyrostu lub zmniejszenia ciepła, liczono stopnie, z których każdy wynosił np. $\frac{1}{100000}$ całej masy wysokości lub rtęci w naczyniu; lub też szukano również dwu stałych punktów, w pewnej odległości jeden od drugiego. Odległość tę, nie troszcząc się o całkowitą masę, dzielono na pewną liczbę stopni i w ten sposób obserwowano zmianę ciepła.

Co do mnie, to nie znajduję żadnego pewniejszego i wygodniejszego sposobu dzielenia termometru na stopnie, niż wyznaczenie pewnych punktów wysokości rtęci.

Co się tyczy punktu zamarzania, to został on wyznaczony przez p. Réaumur'a przy cieplej pogodzie zapomocą

*) Tytuł w oryginale „Observationer om twenne beständiga grader pa en thermometer“. Tłómaczone z przekładu niemieckiego, zamieszczonego w „Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften“ № 57, str. 117 i nast.

sztucznie wytworzonego zimna. Inni w zimie poddawali zimnu ciepłą wodę i zostawiali w niej termometr dopóty, dopóki woda nie zaczęła tężeć, a mianowicie, aż woda pokryła się z wierzchu skorupą. Chociaż ten sposób może nie bardzo chybiać, gdy jest wykonywany z uwagą, to jednak ja znalazłem, czemu nikt nie zaprzeczy, że woda ma jednaki stopień zimna, gdy tężeje lub zaczyna stawać się lodem i śniegiem, co i lód, który zaczyna na nowo stapiać się na wodę. Najdokładniej i najwygodniej daje się wyznaczyć punkt tężenia wody, gdy się zanurzy termometr w lepki śnieg przynajmniej na pół godziny. Co również już dawno zauważył pan Newton, jak to widać z filozoficznych Transaction 270 N., gdzie bez wymienia swego nazwiska podał tablicę rozmaitych stopni ciepła.

Badania te powtarzałem przez dwa lata w ciągu wszystkich zimowych miesięcy, przy wszelkiej pogodzie i przy rozmaitych zmianach barometru i zawsze znajdowałem dokładnie ten sam punkt na termometrze. Również nie tylko zanurzałem, jak to pan Newton podaje, termometr w lepki śnieg, lecz także w czasie surowej zimy stawiałem zimny śnieg w moim pokoju przy ogniu, dopóki nie stał się lepki. Wstawiłem również kocioł z lepkiem śniegiem wraz z termometrem do nagrzanego pieca i za każdym razem znajdowałem, że wskazuje on jednaki punkt, dopóki śnieg gęsto leży przy kuli termometru.

Co cię tyczy drugiego stałego punktu, to jest rzeczą dostatecznie znaną, że woda nie pobiera więcej gorąca, gdy już raz zaczęła się gotować, dopóki pozostaje wrząca²⁾; tak, że rtęć w termometrze zawsze wskazuje jednaki punkt, cokolwiekby przeciwko temu powiedział pan Taglini³⁾.

To, co może sprawić, że punkt ten staje się zmiennym, polega głównie na dwu tylko przyczynach. Pierwsze, że woda naprzód zaczyna się gotować na dnie i stamtąd wysyła pęcherzyki do góry na całą powierzchnię; gdy się jednak nie podnoszą wysoko, to rtęć stoi stale na jednakej wysokości; kiedy zaś ogień jest nagle pobudzony przy po-

mocy miechów tak, że pęcherzyki zaczynają bardzo hałasować i stają się bardzo duże oraz wysoko się podnoszą, i, gdy naczynie jest prawie pełne, uchodzą za brzegi, wtedy podnosi się rtęć nieco wyżej i przytem stoi niespokojnie, dopóki trwa takie silne gotowanie⁴⁾. To również znalazł pan Newton, który mówi w przytoczonej tablicy: Woda zaczęła się gotować przy gorącu 33 stopni i nie mogła pobrać w siebie przez gotowanie silniejszego gorąca, jak 34 stopnie i pół, tak że przyjmuje on 34 stopnie dla gorąca wody, gdy się silnie gotuje (vehementer ebullit).

Po drugie, to zmienia punkt gotującej się wody, że woda zużywa, zanim się zagotuje, więcej ciepła, gdy ciśnienie powietrza jest silniejsze i odwrotnie. A że wysokość rtęci w barometrze jest w równowadze z ciężarem atmosfery, doświadczony mechanik w Amsterdamie Fahrenheit zauważył, że punkt gotującej się wody, przy którym staje rtęć w termometrze, zawsze jest proporcjonalny do wysokości rtęci w barometrze⁵⁾.

Ja też wykonałem bardzo dokładnie to zdumiewające doświadczenie przy różnych wysokościach barometru i znalazłem, że przytoczone doświadczenia Fahrenheit'a są słuszne.

Wynika stąd dostatecznie jasno, że wysokość termometru w gotującej się wodzie zawsze jest odpowiednia do wysokości barometru; mianowicie, że 8 punktów w termometrze, którym się posługuję, daje jeden geometryczny cal zmiany barometru⁶⁾ tak, że termometr, który jest dość czuły, to znaczy ma duże stopnie, włożony do gotującej się wody, może również oddać te usługi, które oddaje barometr...

Jedyna rzecz, co zmienia ten stosunek na jeden, najwyżej na dwa grany⁷⁾, zdaje się na tem polegać, że nie zawsze można jednakowo silnie zagotować wodę. Być może, że różnaitość wody wywołuje tę małą różnicę...

Ale ponieważ różnica ta może być dokładniej zbadana, a jednak prawie nie przewyższa jednego grana, można więc

bez znacznego błędu używać punktu gotowania jakiej się chce wody. Ponieważ więc punkt gotującej się wody powinien być stałym, należy więc wyznaczyć pewną wysokość barometru, z którą zawsze będzie związany. A ponieważ według wszystkich badań pogody, zarówno tu, w Szwecyi, jak i gdziekolwiek bądź w Europie, przeciętna wysokość barometru wynosi mniej więcej 25 cali 3 linie⁸⁾, najlepiej przeto wziąć za stały ten punkt, który daje termometr przy omawianej wysokości barometru.

Gdy więc upewnimy się co do tych dwu stałych stopni, które w czułych termometrach znajdują się w znacznej od siebie odległości, możemy najlepiej wyznaczyć stopnie termometru w sposób następujący, przyczem jest się pewnym, że rozmaite takie termometry w jednakiem powietrzu zawsze wskazywać będą jednakowe stopnie.

1) Zanurza się walec szkła termometru *AB* (fig. 27) w lepki śnieg i zaznacza się dokładnie punkt tężącej wody *C*, który musi być tak wysoko nad walcem w *A*, jak mniej więcej połowa odległości między punktem tężącej wody *C* i gotującej się *D*.

2) Oznacza się punkt gotującej się wody *D* przy wysokości barometru 25 cali i 3 linie.

3) Długość *CD* dzieli się na sto równych części albo stopni tak, że 0 wypada przy *D*, a 100 przy *C*. Prowadzi się te stopnie pod *C* aż do *A*; wtedy jest termometr gotów.

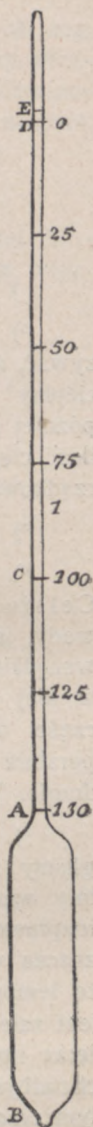


Fig. 27.

Termometr
Celsiusza.

U W A G I.

) (Str. 168) Termometrem.

²) Ustęp ten, dość niejasny, zdawałby się poniekąd wskazywać, że „gorąco“ jest użyte przez Celsiusa w znaczeniu „stan cieplny“ — „temperatura“. Pod tym względem jeszcze o wiele później panował zupełny chaos. Termin „calor“ oznaczał zarówno ilość ciepła, jak i stan cieplny ciała. Terminologia ta została uporządkowana dopiero przez Black'a w drugiej połowie 18 wieku.

³) (Str. 169) Taglini był, jak się zdaje, profesorem w Pizie.

⁴) (Str. 170) Ta niestałość temperatury pochodzi stąd, że Celsius zanurzał termometr w wodzie, a nie w parze wrzącej wody, jak się to czyni obecnie. W wodzie wrzącej ciśnienie nie wszędzie jest jednakowe zarówno, jak i temperatura; następują w niej częściowe przegrzania, które podnoszą temperaturę danej części wody; przy nagłym zaś, zagotowaniu tej części wody temperatura spada (patrz A. Witkowski. Zasady fizyki. Wydanie drugie. Tom drugi str. 101).

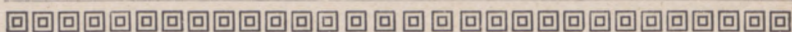
⁵) (Str. 170) W ten sposób sformułowanego prawa nie mogliśmy znaleźć w pracach Fahrenheit'a. O zależności temperatury wrzenia od ciśnienia wspomina Fahrenheit w krocitkiej rozprawce p. t. „Opis nowego barometru“ (hypsobarometer). Zaznacza w niej, że już po napisaniu rozprawy, w której wykazał, że temperatura wrzenia wody wynosi 212°, znalazł, że punkt ten jest zależny od „ciężaru atmosfery“. Poczem pisze „Mógłbym już teraz opisać doświadczenia, wykonane w tym celu, ale ponieważ chciałbym się jeszcze poinformować o pewnych związkach, odłożę tymczasowo ich opis“... W dalszym ciągu opisuje przyrząd — hypsobarometr, — w którym odczytuje się ciśnienie atmosferyczne z odpowiedniej temperatury wrzenia wody.

⁶) (Str. 170) Dane, otrzymane przez Celsiusa, są zupełnie niejasne. Niewiadomo bowiem, jaką część stopnia stanowi

punkt, o którym mówi Celsius. Zmianie barometru o 1 cal ang. = 25,4 mm. odpowiadałoby mniej więcej zmiana temperatury wrzenia o 0,9 stopnia. W jednym z dalszych ustępów, nie przetłómaczonych, podaje Celsius, że 1 calowi barometru odpowiada 1 stopień, co, jak widzimy, zbliża się do obecnie przyjętych wartości.

7) (Str. 170) Gran — setna część cala.

8) (Str. 171) Odpowiadałoby to wysokości 642,62 mm. Możliwe, że cale, używane przez Celsius'a były cokolwiek większe od cali angielskich.



Louis Joseph Gay-Lussac.

(1778—1850).

W badaniach nad zjawiskami cieplnymi zazwyczaj dużo uwagi poświęcano obliczaniu całkowitej ilości ciepła, znajdującej się w danem ciele; gdyż na tej drodze spodziewano się znaleźć wyjaśnienie różnych własności ciepła oraz sposób na ściśle wyznaczenie temperatury ciała. Do obliczeń tych prowadziły dwie drogi: jedna z nich za punkt wyjścia brała kalorymetryczne własności ciała; druga zaś dążyła do tego celu pośrednio, starając się wyznaczyć taki „stan cieplny“ ciała, któryby odpowiadał „bezwzględnemu zimnu“ czyli, według dzisiejszej terminologii, „bezwzględnemu zeru.“ O ile pierwsza z tych metod wkrótce ugrzęzła w sprzecznościach bez wyjścia, w konieczności uciekania się do najdziwaczniejszych założeń, czego nie uniknęły nawet tak wielkie umysły, jak Lavoisier i Laplace, o tyle druga dopomogła do zbudowania termometrów o wiele dokładniejszych od termometrów rtęciowych i, ostatecznie, prawda, że drogami wielce okólnymi, dopięła swego celu i dała sposób na wyznaczenie „bezwzględnego zera“. Podstawą tej drugiej metody było następujące rozumowanie: wyobraźmy sobie jakąś własność ciała, którą możemy zmierzyć i wyrazić odpowiednią liczbą; wielkość tej własności, jak wszystkich prawie własności ciał, ulega pod wpływem ciepła większej lub mniejszej zmianie. Wymierzmy tę zmianę przy podnoszeniu się temperatury o 1° , przyczem skala użyta może być dowolną; jeżeli założymy, że podnoszeniu się temperatury odpowiada ciągle jeden i ten sam kierunek zmiany, to, oczywiście, obniżeniu odpowiadać będzie kierunek przeciwny. Możemy zawsze wybrać taką własność ciała (lub takie ciało), żeby wielkość jej rosła wraz z temperaturą, a więc zmniejszała się przy oziębianiu. Wyobraźmy sobie, iż dzięki daleko po-

suniętemu oziębieniu, wielkość dana staje się zerem. Możemy wtedy uważać odpowiedni „stan cieplny“ za „największe zimno“. Tego rodzaju rozumowanie znajdujemy u twórcy termometru powietrznego Amontons'a (patrz str. 166). Za miarę „stanu cieplnego“ ciała wybrał on „siłę rozprężającą“ powietrza. Wybór ten nie był przypadkowy. Jak słusznie zauważył w niżej podanej pracy Gay-Lussac, własność znacznego rozprężenia się powietrza pod wpływem ciepła, znana już była o wiele dawniej. Na gruncie naukowym jednak postawił to zagadnienie dopiero Amontons. Wyniki pracy jego nie były zadawalające. Było to uwarunkowane wielu trudnościami doświadczalnemi, które były bardzo powoli pokonywane. W sześć lat po Amontons'ie Lahire zwrócił uwagę na rolę, jaką przy pomiarach odgrywa wilgotność powietrza. Usunięcie tego źródła błędów nie wystarczyło jednak, aby mógł on otrzymać z wielu doświadczeń, jakie wykonał, wyniki mniej więcej zgodne; to skłoniło go do zaniechania dalszych prób w tym kierunku i do wyprowadzenia wniosku o niemożliwości dokładnego zbadania własności cieplnych powietrza, dopóki nie będzie lepiej poznana natura samego powietrza. Mimo jednak tych zniechęcających wyników, prace w tym kierunku mnożyły się, nie dając jednak nawet jako tako zgodnych odpowiedzi; tak np. pierwszorzędni uczeni owego czasu Monge, Berthollet i Vandermonde znaleźli, że przy podniesieniu temperatury o 1°R . powietrze rozszerza się o $\frac{1}{184983}$, co w skali Celsius'a odpowiada współczynnikowi rozszerzalności mniej więcej 0,00433; dla tej samej wielkości Roy znalazł liczbę 0,00488. Błędy te jednak nie pozostały bez korzyści dla nauki, wyjaśniały one bowiem coraz bardziej całe zagadnienie i umożliwiły wreszcie danie dokładniejszej na nie odpowiedzi. Pierwszym, który znalazł dla współczynnika rozszerzalności powietrza liczbę mało się różniącą od prawdziwej, był, jak się zdaje, Charles; nigdzie jednak nie ogłosił wyników swych badań. O badaniach jego wiemy jedynie ze wzmianki we wstępie pracy Gay-Lussac'a, który metodę jego ulepszył i zastosował ją do większej ilości gazów i par, kładąc tym sposobem podwalinę ściślej termometrii i teoretycznego badania własności gazów. Wartość współczynnika rozszerzalności powietrza, znaleziona przez Gay-Lussac'a, została dziwnym biegiem okoliczności w tym samym prawie czasie otrzymana przez Dalton'a, a następnie przez tak wytrawnych eksperymentatorów, jak Dulong i Petit. Dopiero Rudberg, napotkawszy w 1837 roku sprzeczność w swych wywodach

dach przy użyciu danych Gay-Lussac'a, poddał na howo badaniu to zagadnienie i częściowo poprawił liczbę Gay-Lussac'a. Po nim pomiary współczynnika rozszerzalności powietrza wykonywał cały szereg uczonych; z prac przez nich wykonanych na szczególną uwagę zasługują prace Magnus'a i Regnault'a. Jest rzeczą bardzo pouczającą, pisze Wilhelm Ostwald w uwagach do niemieckiego tłumaczenia pracy Gay-Lussac'a, przyjrzeć się rozwojowi tego zagadnienia i widzieć, jak pomiary, które obecnie na zajęciach praktycznych każdy student wykonywa z dokładnością do 1%, wymagały całego natężenia sił i zdolności najtęższych głów naukowych.

Gay-Lussac (Louis Joseph) urodził się w 1778 roku. Po ukończeniu szkoły politechnicznej poświęcił się karierze naukowej. W 1808 r. został profesorem fizyki w Sorbonie, w następnym zaś roku objął tamże katedrę chemii. Działalność jego naukowa obejmowała w jednakim prawie stopniu zjawiska czysto chemiczne, jak i czysto fizyczne. W obydwu też tych dziedzinach prace jego posiadają duże znaczenie. Z prac czysto fizycznych najważniejszą, poza podaną niżej pracą nad rozszerzalnością gazów, jest praca o zmianach temperatury gazów, wywołanych przez zmianę gęstości. Praca ta nie została należycie przez współczesnych oceniona i zrozumiana. Z drobniejszych badań należy wymienić: badania zmian wilgotności, temperatury i chemicznego składu powietrza (badania te przeprowadzał, wznosząc się balonem), badania nad wpływem ścian naczyń na wrzenie cieczy i t. d.

Umarł w roku 1850.

Badania nad rozszerzaniem się gazów i par pod wpływem ciepła *).

(Annales de Chimie, t. 43, rok X.)

ROZDZIAŁ I.

Przedmiot tej rozprawy.

...Wiele jeszcze brak, abyśmy mogli polegać na naszej znajomości rozszerzalności gazów i pary oraz biegu termometru. A jednak prawie codziennie zdarza się nam sprowadzać objętości gazu od temperatury danej do innej temperatury; mierzyć ciepło, uwolnione lub pochłonięte przy zmianie stanu skupienia lub temperatury ciała; obliczać wydajność maszyn parowych i rozszerzanie się rozmaitych materii pod wpływem ciepła; oceniać ilość wody rozpuszczonej w powietrzu, zależną od temperatury i gęstości powietrza w sposób jeszcze nieznan; i poznawać najdokładniej gwoli refrakcyi astronomicznej lub pomiarów wysokości zapomocą barometru temperaturę powietrza i prawa jego rozszerzalności....

*) „Recherches sur la dilatation des gaz et des vapeurs par le citoyen Gay-Lussac, Élève-ingénieur de l'École Nationale des Ponts et Chaussées,-Article premier“, rok 1802. Tłómaczono z przekładu niemieckiego w „Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften“ № 44, str. 3 i nast.

Badania nad rozszerzalnością gazów i par pod wpływem ciepła, jak również badania nad biegiem termometru, które przedsięwziąłem, nie są jeszcze ukończone. W niniejszej pracy będę tedy mówił tylko o rozszerzalności gazów i par przy jednakowem danem podwyższeniu temperatury i będę się starał wykazać, że rozszerzalność ta jest dla tych wszystkich płynów zupełnie jednakowa.

ROZDZIAŁ II.

Rys historyczny dawniejszych badań nad rozszerzalnością gazów.

To, że powietrze atmosferyczne rozszerza się przy ogrzewaniu, było, co prawda, znane na długo przed Amontons'em; zdaje się jednak, że był on pierwszym, który starał się zmierzyć wielkość tego rozszerzenia dla danego podwyższenia temperatury: W tym celu zamknął on zapomocą rtęci powietrze w kuli, przylutowanej na końcu odwróconego lewara, i zanurzył ten przyrząd w ciepłej kąpieli wodnej. Powietrze, rozszerzone pod wpływem gorąca, cisnęło na rtęć i podnosiło ją w drugim ramieniu lewara tak, że mógł on sądzić z wysokości rtęci ponad jej położeniem w kuli o prężności powietrza. Z wielu takich doświadczeń nad przestrzeniami powietrznymi rozmaitej wielkości (Mém. de l'Acad. 1699. 1702.) wnioskuje on: 1) że ciepło gotującej się wody nigdy nie przekracza pewnej granicy; 2) że niejednakowe przestrzenie powietrzne przy równym stopniu nagrzania w równej mierze powiększają swą sprężystość i odwrotnie; i 3) że ciepło gotującej się wody podnosi sprężystość powietrza tylko o tyle, że powietrze jest w stanie podnieść słup rtęci w przybliżeniu o 10 cali wyższy, niż poprzednio. Następnie wykazuje, że gorąco gotującej się

wody podnosi sprężystość powietrza, choćby zgęszczonego, zawsze mniej więcej o jedną trzecią, tak, że np. powietrze, zgęszczone przez 60 cali rtęci włącznie z ciśnieniem atmosferycznym, może podnieść w temperaturze gotującej się wody słup rtęci mniej więcej 80 cali. Stąd wnioskuje on, że „jeden, choćby najmniejszy, stopień ciepła jest w stanie powiększyć siłę sprężystości powietrza tem bardziej, im większy ciężar je zgęszcza“.

Gdyby Amontons brał za punkt wyjścia przy swoich badaniach jakiś dokładniej oznaczony stopień ciepła, niż ten, który on nazywa umiarkowanym (co jednak wówczas nie łatwo było wykonać), to możnaby z jego doświadczeń obliczyć z dużym przybliżeniem rozszerzalność powietrza atmosferycznego. Ponieważ jednak wykonał on swe doświadczenia porównawczo z przestrzeniami powietrznymi rozmaitej gęstości, można z doświadczeń tych co najmniej wywnioskować to, że dana objętość powietrza pod wpływem równych stopni ciepła stale osiąga przyrost sprężystości, pozostający przy wszystkich stopniach gęstości powietrza w tym samym stosunku do jego sprężystości początkowej.

Zanim pójdę dalej, muszę zaznaczyć, że to, co znalazłem z wielu doświadczeń, a mianowicie, że tlen, azot, wódór, kwas węglowy i powietrze atmosferyczne rozszerzają się od 0° do 80° proporcjonalnie o tę samą wielkość, już przed 15 laty spostrzegł obywatel Charles¹⁾. Ponieważ jednak nie ogłosił on wyników swoich doświadczeń, był to więc prosty przypadek, że się z nimi zapoznałem...

(Pomiary Charles'a wydawały się jednak Gay-Lussac'owi nie ściśle).

ROZDZIAŁ IV.

Badania i wyniki.

Sześć doświadczeń z powietrzem atmosferycznym.... dało mi następujące wyniki: powietrze atmosferyczne, które w temperaturze topniejącego śniegu zajmowało objętość 100 części *), ogrzane do ciepła gotującej się wody, rozszerzyło się do objętości

137,4 137,6 137,54 137,55 137,48 137,58

takich części, co daje przeciętną rozszerzenie mniej więcej 137,5 części **).

Jeżeli podzielimy całe to rozszerzenie przez liczbę stopni, które je wywołały, czyli przez 80, znajdziemy, jeżeli przyjmiemy objętość w 0° za jednostkę, że powiększenie objętości wynosi $\frac{1}{213,33}$ na każdy stopień lub $\frac{1}{266,66}$ na każdy stopień skali stustopniowej.

Jeżeli więc ogrzejemy do gorąca wrzenia wody ilość gazu, która w temperaturze topniejącego śniegu zajmuje objętość 100 części, to wtedy rozszerzy się:

100 części	o	różnica
powietrza atmosferycznego	37,5 części	—
wodoru	37,52 „	+0,02
tłenu	37,49 „	—0,01
azotu	37,49 „	—0,01

*) Balon mój zawierał około 350 gramów wody.

***) Chociaż różnice w wynikach są nadzwyczaj małe, to jednak sądzę, że mógłbym być jeszcze je zmniejszyć, gdybym uwzględnił w rachunkach stan barometru podczas gotowania. Co prawda, nigdy nie zapominałem podczas gotowania obserwować termometru w gotującej się wodzie, nigdy jednak nie zauważyłem znacznych różnic. Istotnie trzeba było zmiany barometru o cały jeden cal, aby wywołać zmianę punktu wrzenia wody o 1°. W każdym razie przeciętna 137,5 musi być bardzo bliska prawdy.

Ponieważ różnice, otrzymane w wyżej przytoczonych wynikach, dochodzą tylko do dwu dziesięciotysięcznych początkowej objętości gazu, należy je niewątpliwie przypisać czysto przypadkowym okolicznościom, i z doświadczeń tych można z całą pewnością wyprowadzić twierdzenie, że równe objętości tych czterech gazów rozszerzają się przy podniesieniu temperatury od punktu zamarzania do punktu wrzenia dokładnie o tę samą wielkość²⁾.

Wyżej opisane doświadczenia, wykonane wszystkie z wielką starannością, dowodzą niezbicie, że powietrze atmosferyczne, tlen, wodór, azot, gaz saletrzany, gaz amoniakalny, chlorowodór, bezwodnik siarkawy i bezwodnik węglowy pod wpływem równych stopni ciepła wszystkie naogół rozszerzają się w stosunkach jednakowych, i że wobec tego różnice w gęstości tych gazów w jednakowych warunkach ciśnienia i temperatury, różna ich rozpuszczalność w wodzie, a głównie odrębna ich natura nie mają żadnego wpływu na rozszerzalność pod wpływem ciepła.

Stąd wnioskuję dalej, że wszystkie naogół rodzaje gazów rozszerzają się w stosunkach jednakowych pod wpływem równych stopni ciepła i w jednakowych pozostałych warunkach.

Badania te nad rozszerzalnością gazów doprowadziły mnie w sposób zrozumiały do badań nad rozszerzalnością par pod wpływem ciepła. Z góry już było prawdopodobnem, że pary również będą się rozszerzały tak samo, jak gazy, chodziło przeto tylko o zbadanie jednego rodzaju pary. Wybrałem w tym celu parę eteru przygotowanego zapomocą kwasu siarkowego, gdyż z nim najłatwiej się obchodzić. Dla oznaczenia rozszerzalności pary eteru posługiwałem się przyrządem z dwiema rurami. Po zanurzeniu na pewien czas tego przyrządu w kąpeli powietrznej o temperaturze mniej więcej 60° R. wpuściłem do jednej z dwu rur trochę pary eteru, a do drugiej tyleż powietrza atmosferycznego.

rycznego tak, że obiedwie objętości odpowiadały tej samej podziałce, następnie zaś podniosłem temperaturę kąpeli powietrznej od 60° do 100° . Z prawdziwą radością stwierdzi-

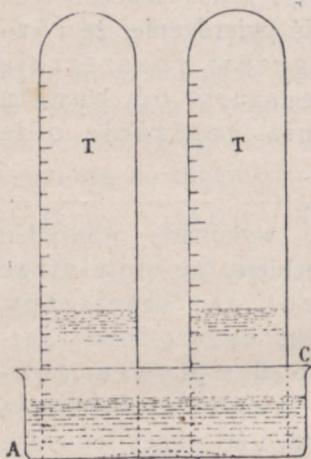


Fig. 28.

Gay-Lussac porównywa rozszerzalność powietrza i pary eteru.

łem, że zarówno przy rozszerzaniu, jak następnie przy kurczeniu się podczas ochładzania para eteru zawsze dotrzymywała kroku powietrzu atmosferycznemu i jednocześnie z niem zawsze dochodziła do jednakowej podziałki skali; doświadczenie to, przy którym był obecny Berthollet³⁾, było powtórzone wiele razy, i nigdy nie mogłem zauważyć najmniejszej różnicy w rozszerzalności pary i powietrza atmosferycznego; chyba tylko, że para eteru, gdy jej temperatura spadła do niewielu stopni ponad punktem wrzenia eteru, zgęszczała się nieco prędzej, niż powietrze atmosferyczne. To jednak zależy od zjawiska, któreśmy

spostzegali również przy wielu ciałach ciekłych, gdy przechodziły w stan stały, a już o parę stopni ponad temperaturą, przy której odbywa się to przejście, niema ono żadnego wpływu. Ponieważ doświadczenie to wskazuje, że para eteru i gazy rozszerzają się zupełnie jednakowo pod wpływem ciepła, jest więc ono dla nas dowodem, że ta ich rozszerzalność nie zależy od szczególnej natury gazów i par, lecz jedynie od tego, że znajdują się one w stanie płynu sprężystego. Możemy więc stąd wywnioskować, że wszystkie gazy i pary rozszerzają się pod wpływem równych stopni ciepła w stosunkach jednakowych.

Ponieważ wszystkie gazy rozszerzają się jednakowo pod wpływem ciepła, jak również jednakowo się zgęszczają, i ponieważ te obiedwie własności są z konieczności związane ze sobą, musimy przeto wnioskować, że pary z chwilą,

gdy mają jednakową z gazami rozszerzalność, muszą też być jednakowo ściśliwe. Wniosek ten jednak o tyle tylko jest słuszny, o ile zgęszczone pary pozostają w stanie płynu zupełnie sprężystego; a to wymaga wysokiej temperatury koniecznej dla nadania im dostatecznego oporu przeciwko ciśnieniu, które stara się je sprowadzić do stanu ciekłego. Wyżej już przytaczałem za Saussure'm⁴⁾ (a moje badania w zupełności to potwierdzają), że wszelkie suche powietrze i powietrze, zawierające mniej lub więcej rozpuszczonej wody, jednakowo się rozszerzają. Jesteśmy więc uprawnieni do wyprowadzenia ze wszystkiego wyżej przytoczonego następujących wniosków:

1) Wszystkie gazy, jakkolwiek byłaby ich gęstość, ilekolwiek zawierałyby wilgoci, a również wszystkie pary, rozszerzają się o równe wielkości pod wpływem równych stopni ciepła.

2) Gazy trwale po ogrzaniu od temperatury punktu zamarzania do temperatury punktu wrzenia, powiększają swoją objętość o $\frac{80}{213,33}$ swej objętości początkowej dla termometru, podzielonego na 80 części, lub o $\frac{100}{266,66}$ dla — podzielonego na 100 części²⁾.

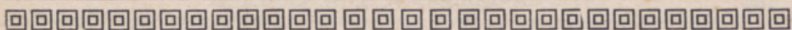
U W A G I.

¹⁾ (Str. 179) Charles (Jacques Alexandre) ur. w 1746 r., um. w 1825 r. Fizyką zaczął zajmować się, będąc już człowiekiem starszym, pod wpływem doświadczeń i odkryć Franklina. Nazwisko jego jest ściśle związane z historią aeronautyki, gdyż on to właśnie pierwszy użył wodoru do napełniania balonów.

²⁾ (Str. 181 i 183) Według Regnaulta współczynniki rozszerzalności tych gazów są następujące: a) dla powietrza...0,0036653; b) dla wodoru...0,0036678; c) dla azotu...0,0036682. Dla tlenu Jolly znalazł...0,0036743. Późniejsze pomiary (Kammerlingh Onnes, Chappuis, Travers i Jaquerod) dały dla wodoru liczby, wahające się pomiędzy 0,00366254 (Chappuis) a 0,0036627 (Travers i Jaquerod).

³⁾ (Str. 182) Berthollet (Claude Louis hr. de B.) ur. w 1748 r., um. w 1822 r., — jeden z najznakomitszych chemików 18 wieku. Badania jego nad kwasem pruskim i cyankami pozwoliły Gay-Lussac'owi, który był jego uczniem, odkryć cyan. Poglądy swoje na istotę zjawisk chemicznych wyraził Berthollet w kapitalnem dziele „Essai de statique chimique“ (1803 r.).

⁴⁾ (Str. 183) Saussure (Horace Bénédicte de Saussure) urodzony w 1740 r. w Couches pod Genewą, um. 1799 r. Był wybitnym geologiem, zajmował się jednak pozatem i fizyką. Zbudował hygroskop, opisany przez niego w dziele „Essais sur l'hygrométrie“. (Neuchâtel 1783 r.).



KALORYMETRYA.

Antoine Laurent Lavoisier

(1743—1794).

i Pierre Simon de Laplace

(1749—1827).

Równoległe do badań, dotyczących wyznaczenia temperatury ciała, badań, które doprowadziły w końcu do dogodnego i dostatecznie ścisłego termometru Celsius'a, był przedsięwzięty cały szereg prac, mających na celu bliższe zbadanie zagadnień, związanych z przechodzeniem ciepła z jednego ciała do drugiego i z wynikającą stąd zmianą stanu cieplnego ciał. Badania tego rodzaju przedstawiały znaczne trudności, a to ze względu na zupełną nieoznaczoność, jak samego przedmiotu badań, tak też i pojęć pomocniczych. Hypoteza, uważająca ciepło za rodzaj płynu nieważkiego, była początkowo zbyt mało opracowana, aby mogła stać się hipotezą „roboczą“, wyznaczającą kierunek badań. To też prace z tej dziedziny bardziej może, niż z innych pokrewnych dziedzin nauki, obfitują początkowo w cały szereg założeń zupełnie dowolnych, częściowo całkowicie apriorycznych, częściowo zaś opartych na błędnych wnioskach, wysnutych z doświadczeń naogół skomplikowanych, a przeto nie dających się łatwo wyjaśnić. Temu stanowi chaosu sprzyjała w wielkiej mierze nieustalona terminologia, która sprawiała, że w jednej i tej samej pracy różne pojęcia oznaczane były tym samym wyrazem. Za pierwszą istotną próbę wyjaśnienia zjawisk, które obecnie obejmuje dziedzina „kalorymetrii“ można, jak się zdaje, uważać doświadczenie, wykonane przez Fahren-

heit'a, a którego opis podał Boerhave*). Polegało ono na wyznaczeniu temperatury mieszaniny wody z rtęcią, wziętych w jednakowych objętościach. Wbrew istniejącemu podówczas założeniu, że końcowa temperatura mieszaniny dwu ciał zależna jest jedynie od objętości tych ciał, okazało się, że w danym wypadku nie była ona bynajmniej przeciętną początkowych temperatur wody i rtęci, lecz zbliżała się bardziej do temperatury wody. Wynik ten, wykazujący niezbitcie wpływ rodzaju ciała na ostateczny stan cieplny mieszaniny, został należycie wyjaśniony przez Black'a*), którego można uważać za właściwego twórcę metod i terminologii, do dziś dnia z pewnemi zmianami nas obowiązujących. Sam proces wyrównywania temperatur dwu ciał zmieszanych Black wyjaśniał w ten sposób.

„Nazywam to równowagą ciepła. Istoty tej równowagi nie znano dostatecznie, dopóki nie podałem sposobu na należyte jej zbadanie. Boerhave przypuszczał, że tam, gdzieby ona zachodziła, znajdowałaby się jednakowa ilość ciepła w jednakowych miarach przestrzeni... Muschenbroek też wyrażał swoje mniemanie w podobny sposób: „Est enim ignis aequaliter per omnia, sed admodum magna, distributus, ita ut in pede cubico auri, aeris et plumarum par ignis sit quantitas ***)“. Za podstawę tego mniemania podawano to, że, gdy do któregośkolwiek z tych ciał przykładali termometr, ten zawsze pokazywał jednaki stopień. Znaczy to jednak... pomieszać ilość ciepła w różnych ciałach z jego ogólnem natężeniem lub wewnętrzną siłą, chociaż jest rzeczą jasną, że są to dwie rzeczy różne, które powinniśmy zawsze odróżniać, gdy chcemy mówić o rozmieszczeniu ciepła. Jeśli np. mamy w jednym naczyniu

*) E. Mach. Principien der Wärmelehre. 2 wydanie. Lipsk 1900, str. 155.

***) Black Józef (ur. 1728, um. 1791) był lekarzem z zawodu. Zajmował katedrę profesorską naprzód w Glasgowie, potem w Edynburgu. Prace jego dotyczą głównie chemii. Z ważniejszych odkryć Black'a należy wspomnieć o odkryciu przez niego bezwodnika węglowego.

****) „Ogień bowiem jest równo rozdzielony między wszystkie w miarę wielkie ciała tak, że w stopie sześciennej złota, powietrza i pieczy ilość ognia jest równa“.

jeden funt wody i dwa funty w drugim, i jeżeli te dwie masy są, jak wskazuje termometr, równie ciepłe, to jest rzeczą jasną, że dwa funty muszą mieć podwójną ilość ciepła w stosunku do tej, jaka jest zawarta w jednym funcie....

Żeby uczynić to wyraźniejszym przy pomocy przykładu liczbowego, założymy, że woda ma 100° *) ciepła i że równa masa rtęci o 150° będzie z nią nagle zmieszana i wstrząśnięta. Wiemy, że przeciętna temperatura między 100° i 150° jest 125° i że otrzymamy tę przeciętną temperaturę, gdy zmieszamy wodę o 100° z równą ilością wody o 150° , gdyż gorąco ciepłej wody będzie zmniejszone o 25° , gdy zimna woda o tyleż podniesie swą temperaturę.

Jeśli jednak zamiast gorącej wody weźmiemy gorącej rtęci, to temperatura mieszaniny spadnie tylko do 120° zamiast do 124° . Rtęć stała się dzięki temu o 30° mniej gorąca, woda zaś tylko o 20° gorętsza; a przecież ilość ciepła, którą zyskała woda, jest właśnie tą samą ilością, którą straciła rtęć.... Rtęć przeto ma mniejszą pojemność cieplną dla materji ciepła (że ośmielę się użyć tego wyrażenia), niż woda; wymaga mniejszej ilości ciepła dla podniesienia swej temperatury o tę samą liczbę stopni.

....Z chwilą, gdy doświadczenie to ujrzałem w tem świetle, o jakim właśnie mówiłem, znalazłem zadziwiającą zgodność między niem i doświadczeniami, wykonanemi przez Dr. Martin'a.... Znalazł on w kilkakroć powtarzanych doświadczeniach, że rtęć została ogrzana przez ogień znacznie prędzej, niż woda, i prawie dwa razy prędzej.... znalazł [też], że rtęć za każdym razem o wiele prędzej się ochładza, niż woda.... Badania te Dr. Martin'a.... wykazują więc wyraźnie, że rtęć bez względu na swoją wielką gęstość i ciężar wymaga mniej ciepła dla ogrzania, niż to jest koniecznem dla podniesienia równej miary równie zimnej wody o tę samą ilość stopni“ **).

*) Z dalszego tekstu widać, że Black używał skali Fahrenheita.

**) Cytaty te są zaczerpnięte z dzieła Black'a „Lectures on the elements on chemistry“. Wobec niemożności otrzymania tego dzieła w ory-

Ta przenikliwa analiza zjawisk cieplnych nie była jednak dostępną szerokiemu ogółowi uczonych, który się z nią naogół zapoznał dopiero po śmierci Black'a. Myśli swoje krzewił Black w gronie swoich uczniów, i ci dopiero stosowali je w praktyce do pomiarów kalorymetrycznych. Całokształt jednak pojęć kalorymetrycznych został po raz pierwszy sformułowany w sposób jasny i przejrzysty przez Lavoisier'a i Laplace'a w niżej podanej rozprawie. Do zajmowania się metodami ścisłego mierzenia ciepła i związanymi z tem teoryjami skłoniła ich chęć bliższego zbadania zjawisk spalania i oddychania, zjawisk, które zostały przez nich po raz pierwszy postawione na gruncie naukowym.

Lavoisier (Antoine Laurent) urodz. w 1743 r. w Paryżu, słusznie jest uważany za ojca chemii nowoczesnej. Odebrawszy staranne wykształcenie matematyczne, zastosował do badań chemicznych metody nauk ścisłych, co pozwoliło mu dokonać wielu ważnych odkryć, że wymienimy tutaj: obalenie teorii flogistonu i wyjaśnienie zjawiska utleniania, wprowadzenie zasady zachowania masy i t. d. Do fizyki w ścisłym znaczeniu tego wyrazu należy jedynie niżej podana rozprawa o ciepłe. Działalność jego naukowa została przedwcześnie przerwana przez wypadki rewolucji francuskiej. Stanowisko generalnego poborcy podatków, które zajmował w roku 1771, uczyniło go w oczach tłumu, pamiętającego różne nadużycia tych poborców, podejrzanym i wreszcie zaprowadziło na gilotynę 8 maja 1794 roku.

Drugi ze współautorów „Rozprawy o ciepłe” Laplace (Pierre Simon hr. de Laplace), urodzony w 1749 r., pracował w zupełnie innej, niż Lavoisier dziedzinie. Tytułu do sławy dostarczyły mu wiekopomne prace matematyczne i astronomiczne; rozwinięcie Newtonowskiej teorii ciężenia powszechnego doprowadziło go do wyliczenia zakłóceń biegu planet, do wykazania, że oś wielka orbity zakłóconej nie ulega zmianom wiekowym, a wreszcie do słynnej hipotezy kosmogonicznej, znanej obecnie pod nazwą hipotezy Kant'a i Laplace'a, która do dziś dnia w zastosowaniu do naszego układu planetarnego nie straciła na wartości. Będąc członkiem Akademii Umiejętności, został powołany do komisji, mającej wypracować nowe wzory miar i wag.

ginałe, przytaczamy je według E. Macha „Principien der Wärmelehre“, str. 156 i nast. Mach posługiwał się niemieckim przekładem dzieła Black'a „Vorlesungen über Chemie“. Hamburg 1804.

Wynikiem prac tej komisji było, jak wiadomo, przyjęcie metra za jednostkę długości i kilograma za jednostkę masy. Szczęśliwszy od Lavoisier'a, przetrwał burzę rewolucyjną i pod panowaniem Napoleona I, który nadał mu tytuł hrabiowski, doszedł do wielkich zaszczytów. Umarł w 1827 roku w Paryżu. Głównymi jego dziełami są „Mécanique céleste“ w 5 tomach i „Théorie analytique des probabilités“.

Rozprawa o ciepłe*).

(Mémoires de l'Académie 1780, str. 355).

Zanim pójdziemy dalej, musimy w pewien określony sposób ustalić, co rozumiemy przez „ciepło swobodne“, „pojemność cieplną“ i „ciepło właściwe ciała“. Fizycy nie są jednomyślni co do istoty ciepła. Wielu z nich uważa je za płyn, który jest rozpowszechniony w całej przyrodzie i który mniej lub więcej przenika ciała, stosownie do stopnia ich temperatury i właściwej im zdolności zatrzymywania ciepła. Może się ono łączyć z ciałami i wtedy przestaje działać na termometr i przechodzić z jednego ciała do drugiego¹⁾. Jedynie w stanie swobody, pozwalającej płynowi temu dojść w ciałach do równowagi, stanowi on to, co nazywamy „ciepłem swobodnym“. Inni fizycy sądzą, że ciepło nie jest niczem innym, jak tylko skutkiem niedostrzegalnych ruchów cząstek materji. Wiadomo, że ciała, nawet najgęstsze, są wypełnione wielką ilością por czyli małych luk, których objętość może znacznie przewyższać objętość zawierającej je materji. Te puste przestrzenie pozwalają najmniejszym cząsteczkom drgać swobodnie w rozmaitych kierunkach, i to naprowadza na myśl, że cząsteczki te znajdują się w ustawicznym ruchu, który, wzrastając do oznaczonej granicy, może nawet rozłączyć małe cząsteczki i tym sposobem rozkładać ciała. Ten

*) Tłómaczone z przekładu niemieckiego w „Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften“, № 40.

ruch wewnętrzny jest, według poglądu fizyków, o których mówimy, tem, co wytwarza ciepło.

Dla rozwinięcia tej hipotezy zwróćmy przedewszystkiem uwagę, że przy wszystkich ruchach, w których nie chodzi o nagłe zmiany, obowiązuje ogólne prawo, któremu geometrzy nadali nazwę „prawa zachowania siły żywej“. Prawo to głosi, że w układzie ciał, które działają na siebie wzajemnie w sposób jakikolwiek, siła żywa t. j. suma iloczynów oddzielnych mas przez kwadrat prędkości jest stała²⁾. Gdy ciała podlegają siłom przyspieszającym, siła żywa równa się sile żywej, która była na początku ruchu, więcej suma mas pomnożonych przez kwadrat prędkości zależnych od działania sił przyspieszających. W hipotezie, którą rozpatrujemy, ciepło jest siłą żywą, wynikającą z niedostrzegalnych ruchów cząsteczek ciała. Jest ono sumą iloczynów z mas poszczególnych cząsteczek przez kwadrat ich prędkości.

Jeżeli wprowadzimy w zetknięcie dwa ciała, których temperatura jest różna, to ilości ruchu, których sobie wzajemnie udzielają, są początkowo nierówne; siła żywa ciała zimniejszego będzie wzrastała o tę samą ilość, o którą zmniejsza się siła żywa drugiego ciała, i przyrost ten będzie zachodził dopóty, dopóki ilości ruchu, które przechodzą z jednego ciała na drugie, nie będą wzajemnie równe. Wtedy temperatura ciał będzie wyrównana.

Nie chcemy rozstrzygać między dwiema wyżej wyłożonymi hipotezami. Wiele zjawisk przemawia na korzyść ostatniej hipotezy: np. to, że ciepło powstaje przez tarcie dwu ciał stałych. Ale są inne, które łatwiej objaśnić na zasadzie pierwszej hipotezy. Być może, że obiedwie są jednocześnie słuszne; w każdym razie, ponieważ co do istoty ciepła można postawić tylko te dwie hipotezy, więc należy przyjąć zasady, wspólne dla nich obu. Otóż zarówno według jednej, jak i drugiej, swobodna ilość ciepła pozostaje zawsze ta sama, gdy zachodzi zwyczajne mieszanie ciał. To jest rzeczą jasną, jeżeli ciepło jest płynem, który dąży do stanu równowagi, jak również i w tym wypadku,

gdy nie jest niczem innym, jak tylko siłą żywą wewnętrznych ruchów materyi; wówczas zasada, o którą chodzi, jest wnioskiem z prawa zachowania siły żywej. Zachowanie ciepła swobodnego przy zwyczajnem mieszaniu ciał jest więc niezależne od wszelkiej hipotezy co do istoty ciepła; jest ono ogólnie przyjęte przez fizyków, i my również przyjmujemy je w dalszych badaniach.

Jeżeli ciepło jest płynem, to jest rzeczą możliwą, że, przy połączeniu się kilku ciał, łączy się ono z nimi lub się od nich oddziela; niema więc a priori żadnej podstawy, żeby ciepło swobodne było takim samem przed i po połączeniu. Również hipoteza, że ciepło jest siłą żywą cząsteczek, nic pod tym względem nie mówi. Gdyż substancje łączące się działają na siebie stosownie do stopnia wzajemnego powinowactwa, cząsteczki ich podlegają przeto siłom przyciągania, które mogą zmienić ilość siły żywej, a co zatem idzie — i ciepła. Można jednak przyjąć następującą zasadę, która jest wspólna obydwu hipotezom,

Jeżeli przy połączeniu się lub jakiegokolwiek zmianie stanu zachodzi zmniejszenie ciepła swobodnego, to ciepło to znowu zjawi się całkowicie, gdy ciała powrócą do swego stanu poprzedniego; z drugiej zaś strony, jeżeli przy połączeniu się lub zmianie stanu zajdzie przyrost ciepła swobodnego, nowe to ciepło zniknie przy powrocie substancji do ich stanu początkowego³⁾.

Zasada ta jest pozatem stwierdzona przez doświadczenia.... Można ją jednak wyrazić jeszcze ogólniej i rozszerzyć na wszystkie zjawiska cieplne w sposób następujący: Wszystkie zmiany cieplne czy to istotne, czy też pozorne, które zachodzą w układzie ciał, zmieniających swój stan, powtarzają się w odwrotnym porządku, gdy układ wraca do swego stanu początkowego⁵⁾. Tak np. zamiana lodu w wodę i wody w parę wywołuje bardzo znaczne znikanie ciepła, mierzonego termometrem, ciepło to zjawia się na nowo przy zamianie wody w lód lub przy zgęszczaniu pary w wodę. Naogół

można sprowadzić pierwszą hipotezę do drugiej, gdy się w niej zamieni słowa „ciepło swobodne, ciepło związane, ciepło uwolnione“ na słowa „siła żywa, strata siły żywej, przyrost siły żywej“.

Jeżeli przypuścimy, że mamy dwa ciała o równej masie, doprowadzone do tej samej temperatury, to ilość ciepła, potrzebna do podniesienia ich temperatury o 1° , może jednak nie być tą samą dla obydwu ciał; i gdy przyjmiemy za jednostkę tę ilość ciepła, która może podnieść o 1° temperaturę jednego funta zwykłej wody, to staje się łatwo zrozumiałem, że wszystkie inne ilości ciepła, tyżące się rozmaitych ciał, mogą być wyrażone w częściach tej jednostki. Ten stosunek ilości ciepła, które są potrzebne do podniesienia temperatury przy równych masach o jednakową ilość stopni, będziemy nadal rozumieli jako pojemność cieplną lub ciepło właściwe. Stosunek ten może się zmieniać przy różnych stopniach temperatury.... Możemy jednak przyjąć, że stosunek ten jest mniej więcej stały od 0° do 80° . Nam przynajmniej doświadczenie nie pozwoliło zauważyć jakiejś wyraźniejszej różnicy. Będziemy wyznaczali ciepło właściwe rozmaitych substancji wewnątrz tych granic.

Dla wyznaczenia tych ilości używana jest następująca metoda: Wyobraźmy sobie 1 funt rtęci o 0° i 1 funt wody o 34° ; gdy zmieszamy obiedwie [ciecze] ciepło wody udziela się rtęci i po kilku sekundach mieszanina przybierze temperaturę jednostajną. Założmy, że równa się ona 33° i że naogół przy mieszanii kilku substancji, które nie działają na siebie chemicznie, ilość ciepła pozostaje zawsze ta sama; przy tych założeniach stopień ciepła, który straciła woda, podnosi temperaturę rtęci o 33° ; stąd wynika, że dla ogrzania rtęci do danej temperatury, potrzebna jest tylko 33-cia część tego ciepła, które doprowadza do tej samej temperatury wodę, to znaczy, że ciepło właściwe rtęci jest 33 razy mniejsze, niż ciepło właściwe wody.

[Dalej następuje wyprowadzenie znanego wzoru kalorymetrycznego na wyznaczenie ciepła właściwego].

W praktyce metoda ta [mieszanin] posiada liczne niedogodności, które mogą spowodować w wynikach znaczne błędy.... Metody tej nie można również stosować do wyznaczenia zimna lub ciepła, które jest wytworzone przez związki, i jest ona zupełnie nieodpowiednia do wyznaczenia ciepła, wywiązanego przy spalaniu i oddychaniu.

Ponieważ badanie tych zjawisk jest najciekawszą częścią teorii ciepła, uważaliśmy, że bardzo pożyteczną dla tej teorii byłaby metoda, nadająca się do ścisłego wyznaczenia tego ciepła, gdyż bez niej o przyczynie powstawania ciepła możnaby stawiać jedynie hipotezy, których zgodności z doświadczeniem nie moglibyśmy sprawdzić. Jeżeli masę lodu, oziębioną do dowolnego stopnia, umieścimy w atmosferze, której temperatura jest wyższa od punktu zerowego termometru, to wszystkie części masy lodowej będą podlegały wpływowi ciepła atmosfery dopóty, dopóki temperatura masy nie dojdzie do zera. Dopiero wtedy ciepło atmosfery będzie zatrzymywane na powierzchni lodu, nie mogąc przedostać się do środka. Będzie ono użyte wyłącznie na stopienie pierwszej warstwy lodu, która będzie je pochłaniała, roztopiając się na wodę. Termometr, pogrążony w tę warstwę, będzie stał na tym samym stopniu, i jedynym widzialnym działaniem ciepła będzie zamiana lodu w ciecz. Jeżeli wtedy lód otrzyma nową ilość ciepła, roztopi się nowa warstwa i tym sposobem pochłonie wszystko ciepło, które jej zostało udzielone. Wskutek tego ciągłego topnienia lodu będą się powoli wydostawały na powierzchnię wszystkie wewnętrzne punkty masy i jedynie w tem położeniu będą znowu poddawane działaniu ciepła ciał otaczających.

Wystawmy sobie teraz w atmosferze, której temperatura jest wyższa od 0° , wydrążoną kulę lodową o temperaturze 0° i wewnątrz niej ciało, ogrzane do jakiegokolwiek bądź stopnia; z tego, cośmy powiedzieli, wynika, że ciepło zewnętrzne nie może przedostać się do wydrążenia kuli i że ciepło ciała nie może się rozproszyć nazewnątrz, lecz pozostaje ograniczonem do wewnętrznej powierzchni wydrążenia, na której może stapać ciągle nowe warstwy dopóty, dopóki

temperatura tego ciała nie spadnie do 0° . Niema obawy, aby topnienie wewnętrznego lodu zależało od innych przyczyn, niż ciepło, utracone przez ciało, gdyż lód ten jest zabezpieczony przed wpływem każdego innego ciepła grubością lodu, który go oddziela od atmosfery; z tych samych powodów można być pewnym, że całe ciepło ciała, uchodząc z niego, jest zatrzymywane przez lód wewnętrzny i zostaje wyłącznie użyte na stopienie go. Stąd wynika, że, jeżeli się starannie zbierze wodę, zamkniętą w wydrążeniu kuli, gdy temperatura ciała spadnie do 0° , waga jej będzie dokładnie proporcjonalna do ciepła, które to ciało straciło, ochładzając się od swej temperatury początkowej do temperatury topniejącego lodu. Gdyż jest rzeczą jasną, że dwa razy większa ilość ciepła musi stopić dwa razy więcej lodu; tym sposobem ilość stopionego lodu jest dokładną miarą ciepła, które wywarło to działanie ⁵⁾.

ARTYKUŁ II.

Doświadczenia nad ciepłem, wykonane opisaną metodą.

Odnosimy ciepło właściwe wszystkich ciał do zwykłej wody, jako jednostki. Jako przeciętną wielu doświadczeń, prawie zgodnych ze sobą, znaleźliśmy, że ciepło potrzebne do stopienia 1 funta lodu, mogłoby 1 funt wody ogrzać o 60° ⁶⁾, tym sposobem, gdy się zmiesza 1 funt lodu o 0° i 1 funt wody o 60° , otrzymuje się w rezultacie 2 funty wody o 0° . Stąd wynika, że lód, gdy się staje ciekłym, pochłania 60° ciepła, co można wyrazić w sposób następujący, niezależnie od dowolnych podziałów ciężarów i termometru: ciepło potrzebne dla stopienia lodu równa się $\frac{3}{4}$ tego ciepła, które może ogrzać równy ciężar wody od temperatury topniejącego lodu do temperatury wody wrzącej.

ARTYKUŁ III.

**Sprawdzenie poprzednich doświadczeń i rozważania,
dotyczące teorii ciepła.**

Lód, zamieniający się w wodę, pochłania, jak mówiliśmy w poprzedzającym artykule, 60 stopni ciepła. Ta własność pochłaniania ciepła przy przechodzeniu w stan ciekły jest właściwa nie tylko temu jednemu ciału. Można się przekonać, że wogóle przy przechodzeniu wszelkich ciał w stan ciekły zachodzi pochłanianie ciepła; gdyż, jeżeliby przy tem przechodzeniu ciało wytwarzało ciepło, to należałoby mu je odjąć, aby je uczynić ciekłym; stawałoby się wtedy stałym dzięki ciepłu, ciekłym dzięki zimnu, co sprzeciwia się danym doświadczenia, jakie mamy co do topienia się ciał. Taki wypadek, że przy przejściu w stan ciekły nie zachodzi ani wytwarzanie, ani pochłanianie ciepła jest, co prawda, matematycznie możliwy, ale niesłychanie mało prawdopodobny. Należy to uważać za graniczną wartość ilości ciepła pochłoniętych przy tem przechodzeniu⁷⁾. Dzięki temu możemy się wznieść do zasady o wiele ogólniejszej, obejmującej wszystkie zjawiska, wywołane przez ciepło: przy zmianach, które ciepło wywołuje w stanie układu ciał, zachodzi zawsze pochłanianie ciepła w ten sposób, że stan, który wynika bezpośrednio z innego dzięki dostatecznemu przyływowi ciepła, pochłania ciepło, przyczem stopień temperatury układu nie podnosi się, np. przy przejściu wody w parę stale będzie pochłaniane ciepło, i termometr, który pogrążymy w wodzie wrzącej lub w parze, wydostającej się z niej, ciągle stać będzie na tym samym stopniu. To samo musi zachodzić przy wszystkich rozkładach, powstających jedynie pod działaniem ciepła i, jeżeli przy niektórych z nich wytwarza się ciepło, należy to wytwarzanie się ciepła przypisać szczególnym przyczynom.

U W A G I.

¹⁾ (Str. 190) Rolę ciepła przy zmianie stanu skupienia pierwszy wyjaśnił Black. Zadziwiające swą jasnością i ścisłością rozumowania ustępy jego pracy przytaczamy poniżej:

„Uważa się zazwyczaj ciecz, jako skutek, który powstaje przy dodaniu małej ilości ciepła do tej ilości, która nagrzała ciało mniej więcej do jego temperatury topnienia; powrót zaś takiego ciała do stanu stałego zależałby od bardzo małego zmniejszenia ilości ciepła ciała, gdy zostało na nowo ochłodzone do tego samego punktu.... Takie było, o ile mi wiadomo, powszechne zapatrywanie się na tę sprawę, gdy zaczynałem w 1757 r. wykłady w uniwersytecie w Glasgow'ie... Jeżeli zwrócimy uwagę na sposób, w jaki topnieją lód i śnieg, gdy są poddane powietrzu ciepłego pokoju lub gdy nastąpi po mrozie odwilż, to łatwo będziemy mogli zauważyć, że, jakkolwiek zimne były one z początku, są wkrótce nagrzane do swego punktu topnienia i wkrótce zaczynają przechodzić na swej powierzchni w wodę. Jeżeliby teraz powszechne mniemanie było całkowicie uzasadnione, jeżeliby do całkowitej przemiany ich w wodę potrzebny był jedynie dalszy dodatek bardzo małej ilości ciepła, to cała masa, choćby znacznych nawet rozmiarów, musiałaby się całkowicie stopić w kilka minut lub sekund, gdyż ciepło jest udzielane nieprzerwanie przez otaczające powietrze. Gdyby tak było istotnie, to z wielu powodów skutki tego byłyby straszliwe; gdyż, nawet tak, jak się rzecz ma obecnie, topnienie wielkich ilości śniegu i lodu wywołuje bystre prądy i powodzie w zimnych krajach....“ (E. Mach. l. c. str. 162).

Podobne uwagi wypowiada co do parowania: „...łatwo mogę wykazać, że tak samo, jak to zachodziło z cieczą, bardzo wielka ilość ciepła jest potrzebna do wytworzenia pary, chociaż ciało jest już nagrzane do tej temperatury, której w najmniejszym stopniu przekroczyć nie może, nie przechodząc w parę. Niezaprzeczoną wnioskami [z teorii przeciwnych] byłoby wybuchanie wody z gwałtownością, którą możnaby uważać za równą

gwałtowności prochu strzelniczego. Mogę jednak wykazać, że zbyt wielka ilość gorąca udaje się do pary, gdy ona się tworzy, przyczem ciepło to nie czyni jej gorętszą dla termometru“.
(E. Mach. I. c. str. 174).

Poglądy, cytowane przez autorów, że pochłanianie ciepła jest uwarunkowane różnicą pojemności cieplnych ciała w stanie stałym i ciekłym, znajdowały pozorne potwierdzenie w istniejącej rzeczywistości różnicy między ciepłem właściwym lodu i wody. Ciepło właściwe lodu jest mniejsze, niż ciepło właściwe wody.

²⁾ (Str. 191) Obecnie siłą żywą nazywamy połowę tej wielkości.

³⁾ (Str. 192) Twierdzenie to jest słuszne, jeżeli suma algebraiczna prac, wykonanych przez ciało lub na ciele, równa się zeru.

⁴⁾ (Str. 192) Jeżeli przemiana jest odwracalna (p. A. Witkowski. Zasady fizyki. Tom 2. Wydanie 2, str. 219).

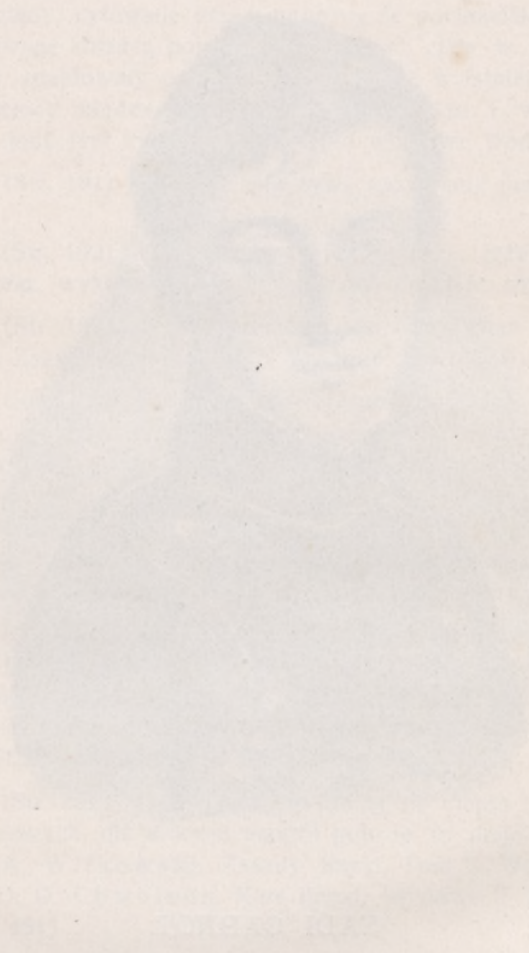
⁵⁾ (Str. 195) Pierwszy, co zresztą przyznają Lavoisier i Laplace, użył tej metody do pomiarów ciepła właściwego Wilke w 1781 r.; zaniedbał on jednak otoczyć właściwy kalorymetr lodowy ochronną warstwą lodu lub śniegu, pomiary przeto wypadły niedokładnie, do czego prawdopodobnie przyczyniała się niemożność dokładnego zebrania wody, powstającej ze stopionego lodu. Zarzucił też tę metodę i wrócił do dawnej metody mieszanin.

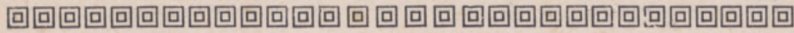
⁶⁾ (Str. 195) Skali Réaumur'a. Ciepło utajone, według Lavoisier'a i Laplace'a, będzie przeto równe 75 gramstopniom. Według Wilke'go 72. W nowszych czasach pomiary tej wielkości były dokonywane wielokrotnie; podajemy najważniejsze: Regnault—79,23, Hess—80,34, Bunsen—80,025.

⁷⁾ (Str. 196) Do tej granicy zbliża się ciepło topnienia ciał bezpostaciowych, dla których naogół pojęcie to staje się nieokreślone. (A. Witkowski. Zasady fizyki. Tom 2. Wydanie 2, str. 81, oraz O. D. Chwolson. Kurs fizyki. Wydanie 2. S. Petersburg 1905, str. 451).



SADI 'CARNOT.





ZASADY TERMODYNAMIKI.

Nicolas Leonard Sadi Carnot.

(1796—1832).

Prawie do końca 18-go wieku zależność między zjawiskami cieplnymi i całą pozostałą dziedziną fizyki zupełnie nie była uwzględniana. Ograniczano się zazwyczaj do badania procesów czysto cieplnych, czego dowody mieliśmy w przytoczonych wyżej pracach Lavoisier'a i Laplace'a, Black'a, Gay-Lussac'a i t. d. Było to poniekąd wywołane koniecznością: należało przede wszystkim ustalić pojęcia zasadnicze, uporządkować jako tako bogaty, lecz chaotyczny materiał doświadczalny i opracować metody pomiarów. Z chwilą jednak, gdy wszystkie te zamierzenia zostały mniej więcej spełnione, zwrócono baczniejszą uwagę na związek, zachodzący między zjawiskami cieplnymi i ogółem zjawisk fizycznych, w pierwszym rzędzie zjawiskami mechanicznymi. Związek ten, rzucający się w oczy i potwierdzany codziennem wprost doświadczeniem, został poraz pierwszy, jak się zdaje, ujawniony w ściśle doświadczeniu przez Rumforda (1798 r.) i wkrótce po nim przez Davy'ego (1799 r.). Obydwaj ci badacze znaleźli, że w pewnych warunkach praca mechaniczna może powodować podniesienie temperatury ciała. Doświadczenia ich nie posiadały jednak w oczach współczesnych dużej wagi. To zaś było uwarunkowane samym sposobem ujęcia przez eksperymentatorów danego zagadnienia. I Rumford, i Davy przeprowadzili swoje badania nad jednym tylko ściśle określonym ciałem (brąz u Rumford'a, lód u Davy'ego), nie starając się zupełnie o uogólnienie postawionych wniosków przy pomocy odpowiednio wybranych doświadczeń z in-

nemi ciałami. Stąd już to próbowano objaśnić wyniki ich badań szczególnymi własnościami badanych ciał (opiłki, otrzymywane przy wierceniu rury w doświadczeniu Rumford'a miały, według Crawford'a, posiadać ciepło właściwe mniejsze, niż metal ciągły, powstając więc z metalu, uwalniały nadmiar ciepłika, co wywoływało podniesienie się temperatury wody, w której była zanurzona bryła), już to, gdy dane objaśnienie zbyt jawnie przeczyło faktom doświadczalnym (woda, powstająca z lodu w doświadczeniach Davy'ego, posiada ciepło właściwe większe, niż lód) pomijano dane doświadczenie milczeniem, uważając je za wyjątek, na który chwilowo nie można znaleźć objaśnienia. Drugą ważną wadą doświadczeń Rumford'a i Davy'ego był brak ścisłych danych ilościowych, wyrażających stosunek włożonej pracy do otrzymanego wzrostu temperatury lub ilości ciepła. Z powodu tych właśnie braków doświadczenia Davy'ego i Rumford'a posiadały w oczach większości uczonych ten sam charakter, co znane oddawna wszystkim wzniecanie ognia przez tarcie dwu kawałków drzewa. Były to, według trafnej uwagi E. Macha, doświadczenia o charakterze biernym, niezdolne skłonić nikogo do dalszych badań. Włączenie jednak zjawisk cieplnych do ogólnej kategorii zjawisk fizycznych stawało się wobec postępów techniki i wobec wzrastającej z dniem prawie każdym ważności zagadnienia, rzeczą wprost palącą. Tak też to rozumiał Sadi-Carnot. Wykształcony na klasycznych wzorach mechaniki Lagrange'a i Laplace'a, chciał znaleźć dla zjawisk cieplnych prawa równie ogólne, równie niezależne od szczególnej istoty ciał działających. Próba przez niego przedsięwzięta dała świetne wyniki, świetniejsze może, niż to przewidywał genialny jego umysł. Okazało się bowiem, że prawo, wyznaczające warunki, w jakich energia cieplna przechodzi w energię mechaniczną, prawo, sformułowane po raz pierwszy przez Carnot'a, jest jedną z najogólniejszych zasad nauki, popartą przez olbrzymi szereg faktów bądź pośrednio, bądź bezpośrednio z nią się wiążących. O ile jednak postawienie sobie za ideał mechanicznego ujęcia zjawisk w wysokim stopniu dopomogło Carnot'owi do jasnego i zadziwiająco przenikliwego sformułowania nowoodkrytych praw, o tyle z drugiej strony skłoniło go do użycia paru fałszywych analogii, nic wspólnego, co prawda, z istotą rzeczy nie mających, ale pozorów utrwalających jedną z najszkodliwszych hipotez owego czasu, hipotezę „niezniszczalności ciepłika“. Wyjaśniając mechanizm wytwarzania przez ciepło „potęgi poruszającej“, Carnot porównywa

działanie mechaniczne ciepłika, przechodzącego z ciała o temperaturze wyższej do ciała o temperaturze niższej, do działania wody, spływającej z wyższego poziomu na niższy. Ilość wody nie ulega wskutek tego procesu, najmniejszej zmianie, zniweczeniu ulega jedynie różnica poziomów; to samo ma zachodzić i z ciepłikiem: ilość jego pozostaje niezmienna, wyrównywa się jedynie różnica temperatur. Ta ponętna, suggestywna wprost na pierwszy rzut oka analogia łączyła pozornie zasadę Carnot'a z pozostałą częścią nauki o ciepłe, gdzie niezniszczalność ciepła stanowiła do pewnego stopnia dogmat. Zaznacza to wyraźnie Carnot:

„zakładamy milcząco w dowodzeniu naszym, że gdy ciało doznało jakichkolwiek zmian i po pewnej liczbie przemian jest doprowadzone identycznie do swego stanu pierwotnego, to znaczy do tego stanu, rozważanego pod względem gęstości, temperatury i stanu skupienia, zakładamy, powiadam, że ciało to będzie zawierało tę samą ilość ciepła, co poprzednio, lub innymi słowy, ilości ciepła pochłoniętego lub wyzwolonego w jego różnych przemianach dokładnie się pokrywają. Fakt ten nigdy nie był podawany w wątpliwość; przyjęty był początkowo bez rozważania i następnie w wielu przypadkach sprawdzony przez doświadczenia kalorymetryczne. Zaprzeczyć mu, znaczyłoby obalić całą teorię ciepła, której jest podstawą“.

(Réflexions sur la puissance motrice etc. str. 37). W samej jednak pracy Carnot'a kryły się zarodki, wysoce dla dawnej teorii ciepłika niebezpieczne. Wystarczyło rozważyć z całą ścisłością wszystkie konsekwencje, które mogłyby wtedy z zasady Carnot'a wyniknąć, jak to uczynił W. Thomson (patrz niżej), albo zmierzyć ilość ciepła, pobieraną przez parę w kotle i oddawaną chłodnicy, jak to uczynił Hirn (1858 r.), ażeby ta dowcipna analogia mechaniczna utraciła wszelkie podstawy. Czuł to do pewnego stopnia już w chwili pisania swych „Uwag“ Carnot:

„zresztą, mówiąc nawiasem, zasadnicze podstawy, na których opiera się teoria ciepła, wymagałyby baczniejszego zbadania. Wydaje się, że wiele faktów doświadczalnych nie da się wytlómaczyć w stanie obecnym tej teorii“.

(Réflexions sur la puissance motrice etc. str. 37). To przekonanie o konieczności ponownego sprawdzenia podstaw teorii ciepła wzra-

stało w nim z każdą chwilą. W pozostawionym przez niego dzienniku spotykamy się z wyraźnym sformułowaniem nowych podstaw:

„Ciepło nie jest niczem innym, jak tylko potęgą poruszającą lub raczej ruchem, który zmienił postać. Jest to ruch w cząsteczkach ciał. Wszędzie, gdzie jest zniszczenie potęgi poruszającej, zachodzi jednocześnie wytwarzanie ciepła w ilości ściśle proporcjonalnej do ilości potęgi poruszającej. Odwrotnie, wszędzie, gdzie jest zniweczenie ciepła, zachodzi wytworzenie potęgi poruszającej. Można więc postawić, jako twierdzenie ogólne, że potęga poruszająca istnieje w naturze w ilości niezmiennej, że nigdy nie jest, mówiąc ściśle, ani wytwarzana ani niweczona. Co prawda, zmienia postać, to znaczy, że wytwarza to jeden to drugi rodzaj ruchu; nigdy jednak nie jest niweczona. Według poglądów, które sobie wytworzyłem na teorię ciepła, wytworzenie jednostki poruszającej wymaga zniweczenia 2,70 jednostek ciepła“ *).

Te genialne myśli pozostały niedostępnymi dla ogółu fizyków. Zostały one bowiem ogłoszone dopiero w 1878 roku, gdy zasada zachowania energii oddawna już była w fizyce ustalona.

Nicolas Leonard Sadi Carnot, syn wielkiego ministra wojny z czasów Rewolucji francuskiej, Łazarza Carnot'a, urodził się w 1796 roku w Paryżu. Studya wyższe odbywał w szkole politechnicznej, po której ukończeniu wstąpił do sztabu jeneralnego. W 1828 roku wystąpił z wojska. Epidemia cholery, grasująca we Francji w 1832 roku, nie ominęła Sadi Carnot'a; umarł po kilkugodzinnych cierpieniach, zostawiając po sobie broszurę, wydaną w 1824 roku, z której wyjątki niżej podajemy. Niewielka ta broszura zapewniła mu miejsce między najgenialniejszymi umysłami ludzkości.

*) Cytowane z E. Mach'a „Die Principien der Wärmelehre“ str. 244. Za jednostkę „potęgi poruszającej“ Carnot bierze, jak to wynika z innych ustępów jego dziennika, 1000 kilogramometrów. Równoważnik mechaniczny ciepła równa się więc, według jego obliczeń, 370 kilogramometrom.

Uwagi o potędze poruszającej ognia i o maszynach zdolnych
do wytworzenia tej potęgi*).

(Paris. Bachelier. 1824).

Wiemy wszyscy, że ciepło może być przyczyną ruchu, że posiada nawet wielką potęgę poruszającą: maszyny parowe, dziś tak rozpowszechnione, są dla wszystkich wymownym tego dowodem.

Ciepłu muszą być przypisane wielkie ruchy, które uderzają nasz wzrok na ziemi; ciepłu zawdzięczamy zaburzenia atmosfery, podnoszenie się obłoków, spadanie deszczu i innych opadów, prądy wody, przerzynające powierzchnię kuli ziemskiej, których drobną zaledwie część udało się człowiekowi na swój obrócić użytek; wreszcie, trzęsienia ziemi, wybuchy wulkanów przyczynę swoją mają również w ciepłe.

Z tego olbrzymiego zbiornika możemy czerpać siłę poruszającą, niezbędną dla naszych potrzeb; przyroda, zewsząd nam dostarczając materiałów palnych, dała nam możliwość stworzenia w każdym czasie i na każdym miejscu ciepła i potęgi poruszającej, która od niego pochodzi. Wytworzyć tę potęgę, przystosować ją do naszych potrzeb, taki jest cel maszyn ogniowych.

*) „Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance“ par Sadi Carnot, ancien élève de l'Ecole Polytechnique. Tłómaczone według wydania Librairie Scientifique A. Hermann. 6 rue de la Sorbonne 1903, które stanowi dokładną kopię wydania oryginalnego.

Badanie tych maszyn jest niesłychanie ciekawe, znaczenie ich jest olbrzymie, stosowanie ich z każdym dniem rośnie. Zdają się być one przeznaczone do wywołania w świecie cywilizowanym wielkiego przewrotu. Już teraz maszyna ogniowa pracuje w naszych kopalniach, porusza nasze okręty, kopie nasze porty i nasze rzeki, kuje żelazo, obrabia drzewo, miążdży ziarno, tka i nakłada osnowę naszych tkanin, przewozi największe ciężary i t. d. Zdaje się, że musi ona w końcu stać się motorem powszechnym i otrzymać pierwszeństwo nad siłą zwierząt, spadkami wody i prądami powietrza. Nad pierwszym z tych motorów posiada przewagę oszczędności; nad dwoma innymi tę nieocenioną wyższość, że może być używana w każdym czasie i na każdym miejscu i że nigdy nie ulega przerwom w swej pracy. Jeżeli kiedykolwiek udoskonalenia maszyny ogniowej posuną się dość daleko tak, że stanie się ona mniej kosztowną zarówno w swej instalacji, jako też i w paliwie, zjednoczy ona wtedy wszystkie cechy pożądane i nada przemysłowi rozpęd, którego doniosłość trudno byłoby przewidzieć.

Często było poruszane zagadnienie, czy potęga poruszająca *) ciepła jest ograniczona, czy też jest bez granic; czy możliwe udoskonalenia maszyn ogniowych mają jakiś dający się wyznaczyć kres, którego istota rzeczy nie pozwala w żaden sposób przekroczyć, czy też, przeciwnie, udoskonalenia te mogą się nieograniczenie rozwijać. Badano również przez długi czas, a nawet i teraz jeszcze, czy nie istnieją inne czynniki, które możnaby przekładać nad parę wodną przy wytwarzaniu potęgi poruszającej ognia; czy po-

*) Posługujemy się tutaj wyrażeniem „potęga poruszająca“ dla oznaczenia użytecznego działania, jakie może wytworzyć motor. Działanie to może być zawsze upodobnione do podniesienia ciężaru na pewną wysokość; za miarę ma ono, jak wiadomo, iloczyn z ciężaru, pomnożonego przez wysokość, na którą ma być podniesiony.

wietrze atmosferyczne np. nie posiada pod tym względem wyższości.

Zjawisko wytwarzania przez ciepło ruchu nie było rozważane z dostatecznie ogólnego punktu widzenia. Rozpatrywano je li tylko w maszynach, których istota i sposób działania nie pozwalały mu się okazać w całej rozciągłości, do jakiej jest zdolne. W podobnych maszynach zjawisko jest do pewnego stopnia ucięte, niezupełne; staje się wtedy rzeczą trudną poznanie jego zasad i zbadanie jego praw.

Dla rozpatrzenia w całej jej ogólności zasady wytwarzania przez ciepło ruchu, trzeba je rozważyć niezależnie od jakiegokolwiek mechanizmu, jakiegokolwiek szczególnego czynnika; trzeba ugruntować rozumowania, które mogłyby być stosowane nie tylko do maszyn parowych *), ale do każdej maszyny, jaką sobie można wyobrazić, jakąkolwiek byłaby użyta substancja i jakimkolwiek byłby sposób, w jaki się na nią działa.

Wytwarzaniu ruchu w maszynach parowych towarzyszy zawsze okoliczność, na której musimy skupić uwagę. Okolicznością tą jest przywrócenie równowagi w ciepliku, to znaczy, przejście jego z ciała, gdzie temperatura jest mniej lub więcej podniesiona, do ciała, gdzie jest niższa. Istotnie, co zachodzi w maszynie parowej rzeczywiście działającej? Ciepłik, wytworzony w ognisku na skutek spalania, przenika ścianki kotła, wytwarza parę, wciela się w nią do pewnego stopnia. Para porywając go ze sobą, unosi go naprzód do cylindra, gdzie wykonywa jakąś czynność, a stamtąd do chłodnicy, gdzie się ona skrapla dzięki zetknięciu z zimną wodą, która się tam znajduje. Woda zimna chłodnicy zagarnia więc ostatecznie ciepłik, wytworzony przez spalanie. Nagrzewa

*) Odróżniamy tutaj maszynę parową od maszyny ogniowej w ogólności; ta ostatnia może się posługiwać jakimkolwiek czynnikiem, parą wody lub każdym innym, dla urzeczywistnienia potęgi poruszającej ognia.

się za pośrednictwem pary, jak gdyby była umieszczona bezpośrednio na ognisku. Para jest tutaj jedynie środkiem przenoszenia ciepła; spełnia ona tu tę samą rolę, jaką spełnia przy ogrzewaniu kąpeli, z tem ograniczeniem, że w wypadku, przez nas rozpatrywanym, ruch jej uczyniliśmy użytecznym¹⁾.

Z łatwością poznajemy w działaniach przez nas opisanych przywrócenie równowagi w ciepłiku, przejście jego z ciała mniej lub więcej ogrzanego do ciała zimniejszego. Pierwszem z tych ciał jest tutaj powietrze spalone²⁾ ogniska, drugim woda w chłodnicy. Przywrócenie równowagi ciepłika zachodzi między nimi, jeżeli nie zupełnie, to przynajmniej w części: gdyż z jednej strony, powietrze spalone po spełnieniu swej czynności, ogarnąwszy kocioł, uchodzi przez komin, mając temperaturę o wiele niższą, niż ta, której nabyło wskutek spalania; z drugiej zaś strony woda chłodnicy, po skropleniu pary, uchodzi z maszyny, mając temperaturę o wiele wyższą od tej, którą miała, przychodząc do maszyny.

Wytwarzanie więc potęgi poruszającej w maszynach parowych zawdzięczamy nie rzeczywistemu zużyciu ciepła, lecz przeniesieniu ciepła od ciała gorącego do ciała chłodnego, to znaczy, przywróceniu równowagi, o której założyliśmy, że jest naruszona dzięki jakiegokolwiek przyczynie, działaniu chemicznemu takiemu, jak spalanie, lub jakiegokolwiek innej. Zobaczymy wkrótce, że zasada ta daje się stosować do każdej maszyny, wprawianej w ruch przez ciepło³⁾.

Według tej zasady nie wystarcza wytwarzanie ciepła dla wywołania potęgi poruszającej; trzeba jeszcze postarać się o zimno, gdyż bez niego ciepło będzie bezużyteczne.

W istocie, gdybyśmy napotykali dokoła siebie jedynie ciała równie gorące, jak nasze ogniska, w jaki sposób udałoby się nam skroplić parę? gdziebyśmy ją umieścili z chwilą, kiedyby powstała? Nie należy sądzić, że możnaby było usunąć ją do atmosfery tak, jak się to czyni w pewnych

maszynach *): atmosferaby jej nie przyjęła. W obecnym stanie rzeczy przyjmuje ją jedynie dlatego, że odgrywa względem niej rolę obszernej chłodnicy, ponieważ posiada zimniejszą temperaturę; inaczej wkrótce byłaby nią napełniona lub raczej byłaby uprzednio nią nasycona **). Wszędzie, gdzie istnieje różnica temperatur, wszędzie, gdzie może zachodzić przywrócenie równowagi ciepłika, można otrzymać również wytwarzanie potęgi poruszającej. Para wodna jest środkiem urzeczywistnienia tej potęgi, ale nie jest środkiem jedynym: wszystkie ciała przyrody mogą być do tego celu użyte; wszystkie podlegają zmianom objętości, kolejnym kurczeniom i rozszerzaniom, dzięki kolejnemu następstwu ciepła i zimna; wszystkie są w stanie przewyciężyć przy swych zmianach objętości pewne opory i wytworzyć w ten sposób potęgę poruszającą. Ciało stałe, pręt metalowy np., kolejno ogrzewany i ochładzany, powiększa i zmniejsza długość i może poruszać ciała, przytwierdzone do jego końców. Ciecz kolejno ogrzewana i ochładzana powiększa i zmniejsza objętość i może pokonać mniej lub więcej znaczne przeszkody, przeciwstawiające się jej rozszerzaniu. Płyn w postaci powietrza podlega znacznym zmianom objętości pod wpływem zmian temperatury; jeśli jest zamknięty w pojemności rozszerzalnej, jak np. cylinder, zaopatrzony

*) Pewne maszyny o wysokim ciśnieniu zamiast skraplać parę usuwają ją do atmosfery; używa się ich szczególnie w miejscach, gdzie trudno wystarać się o prąd wody zimnej, wystarczającej dla wywołania skroplenia.

***) Istnienie wody w stanie ciekłym, które z konieczności, tu zakładamy, gdyż bez niej maszyny parowe nie mogłyby być zasilane, przypuszcza istnienie ciśnienia, które byłoby w stanie przeszkodzić wyparowaniu tej wody, a więc ciśnienia równego lub wyższego od prężności pary, odpowiadającej jej temperaturze. Gdyby podobne ciśnienie nie było wywierane przez powietrze atmosferyczne, natychmiast podniosłaby się ilość pary wodnej, wystarczająca do wytworzenia ciśnienia względem samej siebie, i zawsze trzeba by było przewyciężyć to ciśnienie, aby usunąć parę maszyn do nowej atmosfery. Otóż to jest najwidoczniej równoznaczne z przewyciężeniem prężności pary, która pozostaje po jej skropleniu, wykonaniem zwykłymi sposobami.

w tłok, wykona ruchy o dużej rozciągłości. Pary wszystkich ciał, mogących przechodzić w stan gazowy: pary alkoholu, rtęci, siarki i t. d. mogą oddać te same usługi, co para wodna. Ta ostatnia, kolejno ogrzewana i ochładzana, wytwarzałaby potęgę poruszającą na podobieństwo gazów stałych, to znaczy, nie wracając nigdy do stanu ciekłego. Większość tych sposobów była proponowana; wielu nawet próbowano, chociaż, jak dotychczas, bez znacznego powodzenia.

[W niżej podanych ustępach Carnot podaje bliższe wyznaczenie okoliczności, w jakich ciepło wytwarza pracę mechaniczną. Ustępy te, posiadające wielką wagę historyczną, są zrozumiałe jedynie w związku z obecnie ustalonymi podstawami termodynamiki].

Jest rzeczą naturalną zadać sobie obecnie pytanie jednocześnie i ciekawe, i ważne. Czy potęga poruszająca ciepła jest niezmienna co do ilości, czy też zmienia się wraz z czynnikiem, którym się posługujemy do jej urzeczywistnienia, wraz z substancją pośredniczącą, wybraną jako środek do wywierania działań ciepła?

Postaramy się rozwiązać te zagadnienia, posilując się pojęciami poprzednio ustalonymi.

Wyżej zwróciliśmy uwagę na fakt samo przez się oczywisty lub przynajmniej stający się oczywistym z chwilą, gdy się rozważa zmiany objętości, wywołane przez ciepło: wszędzie, gdzie istnieje różnica temperatur, możemy wytworzyć potęgę poruszającą. Odwrotnie, wszędzie, gdzie możemy zużyć tę potęgę, jest rzeczą możliwą wytworzyć różnicę temperatur, jest rzeczą możliwą wywołać naruszenie równowagi w ciepliku.... Parę wodną, użytą w sposób odwrotny do tego, jaki jest używany w maszynach parowych, również możemy uważać za środek do naruszenia równowagi cieplika. Dla przekonania się o tem wystarczy zastanowić się uważnie nad sposobem, w jaki powstaje potęga poruszająca przez działanie ciepła na parę

wodną. Wyobraźmy sobie dwa ciała A i B , z których każde jest utrzymywane w stałej temperaturze, przyczem temperatura A jest wyższa, niż temperatura B ; te dwa ciała, którym można udzielić lub ująć ciepła, nie zmieniając ich temperatury, spełniać będą czynność dwu nieograniczonych zbiorników ciepłika. Nazwiemy pierwsze z nich ogniskiem, drugie zaś chłodnicą. Jeżeli chcemy wytworzyć potęgę poruszającą przez przeniesienie pewnej ilości ciepła z ciała A do ciała B , możemy postępować w następujący sposób:

1) Pobrać ciepłik z ciała A dla wytworzenia z niego pary, to znaczy, sprawić, żeby to ciało spełniało czynności ogniska lub raczej metalu, tworzącego kocioł w zwykłych maszynach: założymy tutaj, że para powstaje w temperaturze ciała A .

2) Gdy para przejdzie do pojemności rozciągliwej — takiej, jak cylinder, zaopatrzony w tłok, powiększamy objętość tej pojemności i dzięki temu również objętość pary. W ten sposób rozrzedzona, obniży sama przez się temperaturę, jak to zachodzi ze wszystkimi płynami sprężystymi: przypuścmy, że to rozrzedzenie jest posunięte aż do punktu, w którym temperatura staje się dokładnie temperaturą ciała B .

3) Zgęszczamy parę, wprowadzając ją w zetknięcie z ciałem B i wywierając na nią jednocześnie stałe ciśnienie, dopóki się nie skropi zupełnie. Ciało B cdgrywa tutaj rolę wody chłodzącej w maszynach zwykłych, z tą różnicą, że skrapla parę, nie mieszając się z nią i nie zmieniając swej temperatury *).

Działania, któreśmy opisali, mogłyby być wykonane w jednym lub drugim kierunku. Nic nie przeszkadza utworzeniu pary przy pomocy ciepłika ciała B w temperaturze tego ciała, ściśnięciu jej w ten sposób, aby doszła do temperatury ciała A , wreszcie zgęszczeniu jej w zetknięciu z tem

*) Dziwnem się może wydać tutaj, że ciało B , posiadając tę samą temperaturę, co para, może ją skropić: bezwątpienia, ściśle biorąc, nie jest to możliwe, ale najmniejsza różnica temperatur wywoła skroplenie, co wystarcza dla dowiedzenia słuszności naszego rozumowania.

ostatniem ciałem aż do zupełnego skroplenia przy dalszem ściskaniu.

Dzięki naszym pierwotnym działaniom zachodziło jednocześnie wytwarzanie potęgi poruszającej i przenoszenie ciepła z ciała A do ciała B ; dzięki działaniom odwrotnym zachodzi jednocześnie zużywanie potęgi poruszającej i powrót ciepła z ciała B do ciała A . Ale, jeżeli z jednej i drugiej strony działaliśmy na tę samą ilość pary, jeżeli nie zaszła żadna strata ani potęgi poruszającej, ani ciepła, ilość potęgi poruszającej, wytworzonej w pierwszym wypadku, będzie równa potędze poruszającej, zużytej w drugim; ilość ciepła, która przeszła w pierwszym wypadku z ciała A do ciała B , będzie równa ilości, która przechodzi z powrotem w drugim wypadku z ciała B do ciała A tak, że będzie można wykonać nieograniczoną ilość tego rodzaju kolejnych działań, przyczem w sumie ani się nie wytworzy potęgi poruszającej, ani ciepła nie przejdzie z jednego ciała do drugiego. Otóż, gdyby istniały sposoby użycia ciepła korzystniejsze od tych, którymi posługiwaliśmy się, to znaczy, gdyby było możliwem zapomocą jakiegokolwiek metody sprawić, żeby ciepło wytworzył ilość potęgi poruszającej większą, niż ta, którąśmy wytworzyli przez nasz pierwszy szereg działań, wystarczyłoby odjąć część tej potęgi dla powrotnego przeniesienia w sposób dopiero co wskazany ciepła z ciała B do ciała A , z chłodnicy do ogniska, dla przywrócenia rzeczy do ich stanu pierwotnego i w ten sposób do uzyskania możności rozpoczęcia na nowo działania zupełnie podobnego do pierwszego, i tak dalej: byłby to nie tylko ruch wieczny, ale nieograniczone stwarzanie siły poruszającej bez zużywania ani ciepła, ani jakiegokolwiek innego czynnika. Podobne stwarzanie jest wręcz przeciwne poglądom dotychczas nabytym, prawom mechaniki i zdrowej fizyki; jest niedopuszczalne *). Należy więc wyciągnąć wniosek, że maxi-

*) Być może, spotkam się tutaj z zarzutem, że ruch wieczny, którego niemożliwość jest dowiedziona dla samych działań mechanicznych, nie jest, być może, niemożliwym, skoro się użyje wpływów czy to

mum potęgi poruszającej, wynikającej z użycia pary, jest również maximum potęgi poruszającej, dającej się urzeczywistnić jakimkolwiek sposobem. Damy zresztą wkrótce drugi ściślejszy dowód tego twierdzenia. To dowodzenie winno być uważane jedynie za pierwszy rzut oka (zob. str. 213). Z powodu twierdzenia dopiero co wypowiedzianego możnaby nam zadać następujące pytanie: jakie jest tutaj znaczenie słowa maximum? jaki znak nam wskaże osiągnięcie tego maximum? jaki znak nam wskaże, czy para jest użyta w sposób najkorzystniejszy dla stworzenia potęgi, poruszającej? Ponieważ każde przywrócenie równowagi w ciepliku może być przyczyną potęgi poruszającej, każde przywrócenie równowagi, które zajdzie bez wytworzenia tej potęgi musi być uważane za istotną stratę; otóż, gdy się choć trochę nad tem zastanowimy,

ciepła, czy to elektryczności; ale czyż można pojmować zjawiska ciepła i elektryczności, jako powstające z czegoś innego, a nie z jakichkolwiek ruchów ciał, i czy jako takie nie muszą one podlegać ogólnym prawom mechaniki ⁴⁾. Czy nie wiadomo zresztą a posteriori, że wszystkie próby wytworzenia w jakikolwiek sposób ruchu wiecznego były bezpłodne? Że nigdy się nie udało wytworzenie ruchu rzeczywiście wiecznego, to znaczy ruchu, któryby trwał wiecznie bez zmian, zachodzących w ciałach, użytych do jego urzeczywistnienia? Nieraz uważano przyrząd elektrobodźczy (stos Volty) za mogący wytworzyć ruch wieczny; starano się urzeczywistnić tę myśl, budując stopy suche, rzekomo nie doznające zmian. Ale, cokolwiek można było uczynić, przyrząd zawsze doznawał znacznych uszkodzeń, gdy działanie jego było podtrzymywane przez pewien czas z pewną energią. Pojmowanie ogólne i filozoficzne słowa *ruch wieczny* musi obejmować nie tylko ruch, mogący trwać nieograniczenie po otrzymaniu pierwszego popędu, lecz również działanie przyrządu, jakiegokolwiek zespołu, mogącego tworzyć potęgę poruszającą w ilości nieograniczonej, mogącego wyprowadzić kolejno ze spoczynku wszystkie ciała przyrody, jeżeliby były w nim pogrążone, zniszczyć w nich zasadę bezwładności, zdolnego wreszcie do czerpania z samego siebie sił, potrzebnych do poruszenia całego wszechświata, dla podtrzymania, dla ciągłego przyspieszania jego ruchu. Takim byłoby prawdziwe stworzenie potęgi poruszającej. Gdyby to było możliwem, nie byłoby potrzeby szukać w prądach wody i powietrza, w materiałach palnych tej potęgi poruszającej. Mielibyśmy w naszym rozporządzeniu nieprzebrane źródło, z którego moglibyśmy dowoli czerpać ⁵⁾.

sposprzeżemy, że każda zmiana temperatury, powstająca nie dzięki zmianie objętości ciał, może być jedynie nieużytecznym przywróceniem równowagi w ciepłiku *). Warunkiem koniecznym istnienia maximum jest więc to, aby w ciałach użytych do urzeczywistnienia potęgi poruszającej ognia nie zachodziła żadna zmiana temperatury, któraby nie powstawała ze zmiany objętości. Odwrotnie, za każdym razem, gdy warunek ten będzie spełniony, maximum będzie osiągnięte...

Każda zmiana temperatury, która nie powstaje ze zmian objętości lub z działania chemicznego (działanie, o którym chwilowo zakładamy, że go tutaj nie spotykamy) z konieczności powstaje z bezpośredniego przejścia ciepłika z ciała mniej lub więcej nagrzanego do ciała zimniejszego. Przejście to odbywa się głównie przy zetknięciu się ciał o różnych temperaturach, to też podobnego zetknięcia należy o ile możności unikać. Bezwątpienia, nie można go uniknąć zupełnie, ale trzeba przynajmniej tak zrobić, aby ciała, znajdujące się w zetknięciu, mało się między sobą różniły co do temperatury.

Gdyśmy dopiero co przypuszczali w naszym dowodzeniu, że ciepłik ciała A jest użyty do wytworzenia pary, uważaliśmy, że para ta powstaje w temperaturze ciała A : tym sposobem zetknięcie zachodziło między ciałami o równych temperaturach; zmiana temperatury, która zaszła następnie w parze, powstała z rozszerzenia się, a więc ze zmiany objętości; wreszcie zgęszczania dokonano również bez zetknięcia z ciałami o różnych temperaturach. Wykonaliśmy je, wywierając stałe ciśnienie na parę, znajdującą się w zetknięciu z ciałem B o tej samej, co ona, temperaturze. Warunki

*) Nie zakładamy tutaj istnienia żadnego działania chemicznego między ciałami, użytymi do urzeczywistnienia potęgi poruszającej ognia. Działanie chemiczne, które zachodzi w ognisku jest działaniem do pewnego stopnia przedwstępem, zabiegiem, mającym na celu nie natychmiastowe wytworzenie potęgi poruszającej, lecz naruszenie równowagi ciepłika, wywołanie różnicy temperatur, która ma następnie wzbudzić ruch.

maximum były więc spełnione. Co prawda, rzecz ta nie może zachodzić ściśle tak, jakśmy to przypuścili. Dla wywołania przejścia cieplika z jednego ciała do drugiego trzeba, aby w pierwszym była przewyżka temperatury; możemy jednak założyć, że przewyżka ta jest dowolnie małą; można ją w teorii uważać za równą zeru, przyczem dowodzenia nic nie tracą na swej ścisłości⁶⁾.

Według pojęć dotychczas ustalonych można z dostateczną słusnością porównać potęgę poruszającą ciepła z potęgą poruszającą spadku wody: obiedwie mają maximum, którego nie mogą przekroczyć, jakkolwiek byłaby z jednej strony maszyna, użyta do pobierania działania wody i jakkolwiek byłaby z drugiej strony substancja, użyta do pobierania działania ciepła. Potęga poruszająca wodospadu zależy od jego wysokości i od ilości cieczy; potęga poruszająca ciepła zależy również od ilości użytego cieplika i tego, co możnaby nazwać i co istotnie będziemy nazywali wysokością jego spadku, to znaczy różnicy temperatury ciał, między którymi zachodzi wymiana cieplika. W wodospadzie potęga poruszająca jest ściśle proporcjonalna do różnicy poziomu między zbiornikiem wyższym i zbiornikiem niższym. W spadku cieplika rośnie ona bezwątpienia, wraz z różnicą temperatur między ciałem ciepłym i ciałem zimnym; ale nie wiemy np., czy spadek cieplika od 100° do 150° dostarcza mniej lub więcej potęgi poruszającej, niż spadek tego samego cieplika od 50° do 0°⁷⁾.

Damy tutaj drugi dowód zasadniczego twierdzenia, wypowiedzianego na str. 211 i wyrazimy to twierdzenie w postaci ogólniejszej, niż ta, w jakiej wypowiedzieliśmy je wyżej.

Gdy płyn gazowy jest nagle ściśnięty, temperatura jego się podnosi; obniża się zaś, gdy jest nagle rozszerzony. Jest to jeden z faktów najlepiej przez doświadczenie stwierdzonych: weźmiemy go za podstawę naszego dowodzenia.

Gdy temperatura gazu podniosła się na skutek ściśnięcia, to, jeżeli chcemy go sprowadzić do temperatury początkowej, nie wywołując nowych zmian w jego objętości,

musimy mu odjąć ciepłik. Ciepłik ten mógłby być również odejmowany w miarę, jak zachodzi ściskanie, tak, że temperatura gazu pozostaje stałą. Tak samo, jeżeli gaz jest rozrzedzony, można uniknąć obniżenia jego temperatury, dostarczając mu pewnej ilości ciepłika. Nazwiemy ciepłik, używany w tych wypadkach, gdzie nie zachodzi żadna zmiana temperatury, ciepłikiem zmiany objętości. Nazwa ta nie oznacza, że ciepłik należy do objętości; należy do niej nie więcej, niż do ciśnienia, i mógłby równie dobrze być nazwany ciepłikiem zmiany ciśnienia.

Ustaliwszy to przedwstępne pojęcie, wyobraźmy sobie płyn sprężysty, np. powietrze atmosferyczne, zamknięte w naczyniu cylindrycznym $abcd$ fig. 1., zaopatrzonem w przegrodę ruchomą lub tłok cd ; niech będą pozatem dwa ciała A, B , z których każde jest utrzymywane w stałej temperaturze, przyczem temperatura A jest wyższa, niż temperatura B ; wyobraźmy sobie teraz szereg następujących dziełań:

1) Zetknięcie ciała A z powietrzem zamkniętem w pojemności $abcd$ lub ze ścianką tej pojemności, ścianką, o której założymy, że z łatwością przenosi ciepłik. Powietrze dzięki temu zetknięciu znajduje się w temperaturze ciała A ; cd jest wtedy położeniem rzeczywistem tłoka.

2) Tłok stopniowo się podnosi i dochodzi do położenia ef . Zetknięcie między ciałem A i powietrzem trwa ciągle; w ten sposób powietrze podczas rozrzedzenia jest utrzymywane w temperaturze stałej. Ciało A dostarcza ciepłika koniecznego dla utrzymania stałości temperatury.

1.

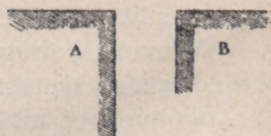
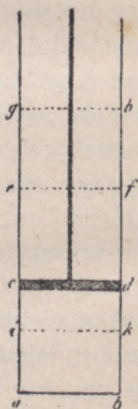
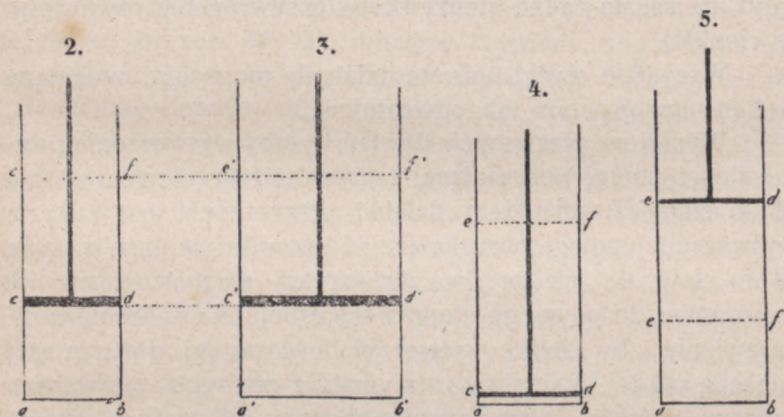


Fig. 29 (1, 2, 3, 4, 5).
Przemiany w procesie
Carnot'a.

3) Ciało *A* jest odsunięte, i powietrze nie styka się już więcej z żadnym ciałem, mogącem mu dostarczyć ciepła; tłok jednak porusza się w dalszym ciągu i przechodzi z położenia *ef* do położenia *gh*. Powietrze się rozrzedza, nie otrzymując ciepła, i temperatura jego obniża się. Wyobraźmy sobie, że obniża się w ten sposób dopóty, dopóki nie stanie się równą temperaturze ciała *B*: wtenczas tłok się zatrzymuje i znajduje się w położeniu *gh*.

4) Wprowadzamy powietrze w zetknięcie z ciałem *B*; jest ono ściśnięte dzięki powrotowi tłoka, który sprowadzamy z położenia *gh* do położenia *cd*. Powietrze to zachowuje jednak temperaturę stałą, stykając się z ciałem *B*, któremu ustępuje swego ciepła.



5) Ciało *B* jest odsunięte, ściskamy w dalszym ciągu powietrze, które, będąc odosobnione, podnosi swą temperaturę. Ściskanie trwa dopóty, dopóki powietrze nie przybierze temperatury ciała *A*. Tłok tymczasem przechodzi z położenia *cd* do położenia *ik*.

6) Znowu wprowadzamy powietrze w zetknięcie z ciałem *A*, tłok wraca z położenia *ik* do położenia *ef*; temperatura pozostaje niezmienną.

7) Okres⁹⁾, opisany pod № 3 powtarza się, później kolejno okresy 4, 5, 6, 3, 4, 5, 6, 3, 4, 5 i tak dalej. Przy tych różnych działaniach tłok doznaje mniejszego lub większego

ciśnienia ze strony powietrza, zamkniętego w cylindrze; siła sprężysta tego powietrza zmienia się zarówno wskutek zmian objętości, jak i zmian temperatury; należy jednak zauważyć, że dla równej objętości, to znaczy dla podobnych położeń tłoka, temperatura jest wyższa podczas ruchów rozszerzania, niż podczas ruchów ściskania. Podczas pierwszych więc siła sprężysta powietrza jest większa, i wobec tego potęga poruszająca, wytworzona przez ruchy rozszerzania, jest znaczniejsza, niż ta, która jest zużyta na wytworzenie ruchów ściskania. Tym sposobem otrzymamy nadwyżkę potęgi poruszającej, nadwyżkę, którą możemy obrócić na jakikolwiek użytek. Powietrze służyło nam więc za maszynę ogniową; użyliśmy go nawet w sposób możliwie najkorzystniejszy, gdyż nie zaszło żadne nieużyteczne przywrócenie równowagi w ciepliku.

Wszystkie wyżej opisane działania mogą być wykonane w kierunku prostym lub odwrotnym....

Wynikiem pierwszych działań byłoby wytworzenie pewnej ilości potęgi poruszającej i przeniesienie ciepłika z ciała *A* do ciała *B*; wynikiem działań odwrotnych jest zużycie wytworzonej potęgi poruszającej i powrót ciepłika z ciała *B* do ciała *A*; tak że dwa te szeregi działań znoszą się wzajemnie, do pewnego stopnia się zobojętniają. Niemożność sprawienia, aby ciepłik wytworzył ilość potęgi poruszającej większą od tej, którąśmy otrzymali z naszego pierwszego szeregu działań, łatwo można obecnie udowodnić. Będzie ona dowiedziona zapomocą rozumowania, zupełnie podobnego do tego, jakim posługiwaliśmy się na str. 211. Rozumowanie będzie w tym wypadku nawet o jeden stopień dokładniejsze: powietrze, którem się posługujemy dla wytworzenia potęgi poruszającej, jest doprowadzone przy końcu każdego obiegu działań dokładnie do stanu, w jakim się znajdowało uprzednio, z parą zaś wodną rzecz nie zupełnie się tak miała....

Wybraliśmy powietrze atmosferyczne za narzędzie, mające wytworzyć potęgę poruszającą ciepła; lecz jest rzeczą oczywistą, że rozumowania pozostałyby takimi samymi dla

każdej innej substancji gazowej, a nawet dla każdego innego ciała, mogącego zmieniać temperaturę dzięki kolejnym kurczeniom i rozszerzaniom, co obejmuje wszystkie ciała przyrody lub przynajmniej wszystkie te, które się nadają do urzeczywistnienia potęgi poruszającej ciepła. Tym sposobem doszliśmy do ustalenia następującego twierdzenia ogólnego: Potęga poruszająca ciepła jest niezależna od czynników, użytych dla jej urzeczywistnienia; ilość jej jest wyznaczona jedynie przez temperaturę ciał, między którymi ostatecznie zachodzi przenoszenie ciepła.

— — — — —

Nie możemy sobie pochlebiać, żebyśmy mogli kiedykolwiek w praktyce zużytkować całą potęgę poruszającą materiałów palnych. Wysiłki, któreby czyniono, aby zbliżyć się do tego wyniku, byłyby raczej szkodliwe, niż użyteczne, gdyby powodowały zaniedbanie innych poważnych względów. Oszczędność opału jest tylko jednym z warunków, którym ma odpowiadać maszyna ogniowa; w wielu okolicznościach jest jedynie wtórną, musi często ustąpić miejsca bezpieczeństwu, wytrzymałości, trwałości maszyny, ograniczoności miejsca, które ma zajmować, ograniczoności kosztów jej urządzenia i t. d. Umieć w każdym wypadku ocenić według ich wartości rzeczywistej względy stosowności i oszczędności, które mogą się zjawić, umieć odróżnić najważniejsze z nich od tych, które są jedynie dodatkowymi, stosownie je wszystkie rozważyć, aby dojść najłatwiejszym sposobem do najlepszych wyników, takim powinien być główny dar człowieka, powołanego do kierownictwa, do wzajemnego skoordynowania prac swoich bliźnich, do sprawienia, aby dążyły one do użytecznego celu niezależnie od tego, jakim cel ten będzie.

— — — — —

UWAGI.

¹⁾ (Str. 206) Analogia ta nie odpowiada naszym poglądom obecnym: para, ogrzewająca kąpiel, całe swe ciepło oddaje wodzie kąpiel; para w maszynie parowej część swego ciepła zużywa na wykonanie pracy.

²⁾ (Str. 206) Carnot przez ten termin rozumie gazy, otrzymane przy spalaniu.

³⁾ (Str. 206) To sformułowanie opiera się na hipotezie „niezniszczalności ciepła”. Obecnie wiemy, że w maszynie parowej zachodzą jednocześnie dwa zjawiska: a) przejście ciepła z ciała gorętszego do chłodniejszego; b) zamiana części ciepła na pracę mechaniczną.

⁴⁾ (Str. 211) Tę samą myśl o sprowadzeniu wszystkich zjawisk do zjawisk mechanicznych spotykamy w obszerniejszym rozwinięciu u pisarzy późniejszych (patrz np. odnośną rozprawę Helmholtz'a). Ciekawą jest rzeczą, że w omawianym ustępie jeden krok tylko oddziela Carnot'a od sformułowania zasady zachowania energii.

⁵⁾ (Str. 211) Jest to t. zw. „perpetuum mobile” pierwszego rodzaju. Praca Carnot'a zwróciła uwagę na niemożliwość „perpetuum mobile” drugiego rodzaju, polegającego na tem, że dane ciało pobiera ciepło ze zbiornika o tej samej, co i ciało, temperaturze, zamienia je na pracę, która przechodząc w ciepło, oddaje z powrotem zbiornikowi pobrane poprzednio ciepło.

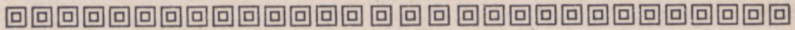
⁶⁾ (Str. 213) Cały ten ustęp zawiera rozumowanie następujące: rozważania ogólne doprowadzają Carnot'a do wniosku, że maximum wydajności otrzymujemy wtedy, gdy w procesach, zachodzących w maszynie „ogniowej”, przewodzenie ciepła nie odgrywa żadnej roli. Ideał takiej maszyny otrzymamy, stosując w niej procesy, wyżej podane przez Carnot'a: procesy izotermiczne i adiabaticzne. Maszyna taka pracować może naprzód i wstecz, jest więc, według terminologii nowoczesnej, odwracalna. Carnot dowodzi, że

wydajność takiej maszyny nie zależy bynajmniej od ciała czynnego w maszynie. Dowodzenie swoje opiera na dwu założeniach: a) niezniszczalności ciepłika; b) niemożliwości perpetuum mobile pierwszego rodzaju. Z chwilą, gdy twierdzenie to jest dowiedzione, idzie on krok naprzód i wypowiada twierdzenie ogólne, że wydajność takiej maszyny zależy jedynie od temperatury kotła i chłodnicy (patrz str. 217).

Z poczynionych wyżej założeń co do maximum wydajności, wynika, że wydajność maszyny odwracalnej jest granicą, do której zbliżać się mogą mniej lub więcej maszyny nieodwracalne, to jest rzeczywiście używane, nigdy jej nie przekraczając.

Rozumowanie Carnot'a można w łatwy stosunkowo sposób uzgodnić z obecnymi naszymi poglądami, jeżeli: 1) zasadę niemożliwości perpetuum mobile pierwszego rodzaju zastąpimy ogólniejszą zasadą zachowania energii; 2) jeżeli na miejsce zasady niezniszczalności ciepłika postawimy nową zasadę, nazywaną zazwyczaj zasadą Carnot'a lub Clausius'a (patrz pracę Clausius'a). Odwrotnie jeżeli twierdzenie Carnot'a przyjmiemy bez dowodzenia, jako pewnik, będziemy mogli dowieść słuszności dodatkowego założenia to jest zasady Carnot'a-Clausius'a.

- 7) (Str. 213) Patrz wstęp do pracy Clausius'a.
- 8) (Str. 215) W tekście oryginału brak liter „ik“.
- 9) (Str. 215) W tekście francuskim: „la periode“.



Juliusz Robert Mayer.

(1814—1878)

Pierwsze próby sformułowania czegoś analogicznego do obecnie nas obowiązującej zasady zachowania energii sięgają wieku 17. W owym czasie często były czynione wysiłki zbudowania perpetuum mobile. Badanie działania maszyn prostych doprowadziło Galileusza do stwierdzenia niemożliwości takiego ruchu. Praca oporu, według Galileusza, tylko w wyjątkowym wypadku, wtedy mianowicie, gdy opory bierne równe są zeru, równa się pracy siły poruszającej; naogół praca ta jest mniejsza; stąd wniosek, że maszyna nie może stworzyć pracy. Z dowodzenia Galileusza nie wynika jednak bynajmniej, jak na to słusznie zwraca uwagę H. Poincaré (*Thermodynamique*. wydanie 2, str. 4), że praca nie może być zniszczona. Połowiczny wniosek Galileusza nie ujmował więc zagadnienia w całej rozciągłości. W wypadku jednak swobodnego spadku ciał wzory, podane przez Galileusza, prowadzą wprost do zasady zachowania energii mechanicznej. Istotnie, według Galileusza prędkość końcowa v ciała, spadającego z wysokości h , równa się $\sqrt{2gh}$. Stąd mamy bezpośrednio

$$\frac{v^2}{2} - gh = 0.$$

Jeżeli założymy, że masa ciała równa jest jednostce, wtedy wyraz pierwszy będzie oznaczał energię ruchu danego ciała, drugi energię położenia układu, złożonego z danego ciała i ziemi; całe zaś równanie wyrażać będzie niezmiennosc sumy tych dwu energii.

Descartes poszedł znacznie dalej, niż Galileusz. Dla niego było a priori jasnym, że poprzez wszystkie zjawiska mechaniczne, a takimi były dla niego wszystkie zjawiska fizyczne, musi się zachowywać coś stałego.

„Bóg, mówi Descartes, nigdy nie zmienia swego sposobu działania i zachowuje świat przez to samo działanie, za którego pomocą go stworzył... I dla utrzymania ich**) przez to samo działanie i zapomocą tych samych praw, którym poddał je przy stworzeniu, musi zachować teraz w nich wszystkich ruch, który im wtedy nadał, o własności, której temu ruchowi udzielił, — iż on nie pozostaje raz na zawsze związany z temi samemi częściami materji, lecz przechodzi od jednych do drugich, stosownie do różnych ich spotkań“ *).

W tej rażącej nas nieco formie słowa Descartes'a wyrażają pewną skłonność umysłu ludzkiego do ujmowania wszystkich zjawisk przyrody w postać pewnych niezmienników, wyrażania zasad naukowych, jako zasad zachowania. Wychodząc z takiego założenia, Descartes starał się znaleźć w zjawiskach mechanicznych tego rodzaju niezmiennik i zdawało mu się, że znalazł go w ilości ruchu. Zasada zachowania ilości ruchu w postaci, którą nadał jej Descartes, okazała się najzupełniej błędną, co zresztą przyznał później sam Descartes; uległa też ona znacznej zmianie w pracach Huyghens'a, który nadał jej postać ostateczną.

Hypotezy Descartes'a nie pozostały jednak bez dodatniego wpływu na naukę. To samo zagadnienie podjął Leibniz, jeden z najznakomitszych umysłów 18-go wieku, wspólnie z Newton'em twórca rachunku nieskończonościowego. Leibniz podobnie, jak Descartes, zakłada, że coś musi pozostawać niezmiennem w zjawiskach fizycznych, za niezmiennik taki uważa jednak nie ilość ruchu, a inną wielkość. Wyobraźmy sobie układ, złożony z n ciał, których masy oznaczmy odpowiednio przez m_i , prędkości zaś przez v_i . Według Leibniz'a, wyrażenie $\sum_{i=1}^{i=n} m_i v_i^2$, które nazwał żywą siłą, w przeciwieństwie do siły martwej, równej Kartezjuszowskiej ilości ruchu, jest wyrażeniem charakterystycznym dla danego układu. Dla Leibniz'a wielkością stałą jest działanie poruszające, równe sumie siły żywej i t. zw. działania utajonego.

*) Descartes Principes, część II, rozdział XLII. (Cytata wzięta z dzieła E. Meyerson'a „L'identité et réalité“. Paris. Felix Alcan. 1908, str. 171).

**) Ciał natury (przyp. tłóm.).

„Utrzymywałem, pisze Leibniz, że siły czynne zachowują się na tym świecie. Zarzucają mi, że dwa ciała miękkie, nie sprężyste tracą swoją siłę. Odpowiadam, że nie. Prawda, że całości tracą ją względem swego ruchu całkowitego, lecz części ją otrzymują, będąc wewnątrznie poruszane siłą spotkania. Tym sposobem brak ten zachodzi tylko pozornie. Siły nie są niszczone, lecz rozpraszane między drobne części. Nie znaczy to stracić je, ale postąpić, jak ci, którzy zmieniają większe monety na drobne“ *).

Badania Leibniz'a były dalej prowadzone przez Jana Bernoulli'ego, twórcę pojęcia „pracy przygotowanej“ (travail virtuel) i pierwszego chyba, który użył w nauce słowa energia, rozumiejąc przez nie iloczyn z siły przez „prędkość przygotowaną“. W liście do Varignon'a z d. 26. I. 1717 roku Bernoulli wyraża się w ten sposób:

„Przy każdej równowadze jakichkolwiek sił, w jakikolwiek sposób byłyby przyłożone i w jakimkolwiek kierunku działałyby jedna na drugą, czy pośrednio, czy też bezpośrednio, suma energii dodatnich będzie równa sumie energii ujemnych, wziętych dodatnio“ **)

Rozwinięciem tej myśli było sformułowanie twierdzenia sił żywych: zmiana połowy siły żywej równa się sumie prac, wykonanych przez wszystkie siły układu podczas uważanego przesunięcia ***).

Tego rodzaju rozważania miały w owych czasach znaczenie nie tylko dla mechaniki. Według Descartes'a, Leibniz'a i całego szeregu innych uczonych pierwszej połowy 18-go wieku, wszystkie zjawiska fizyczne dadzą się sprowadzić do ruchu; działania na odległość niema, nie potrzeba więc wprowadzać pojęcia analogicznego do obecnego pojęcia energii potencjalnej. Takie ujmowanie zjawisk przyrody, poparte przez nadzwyczajny rozkwit mechaniki w 18-ym

*) Leibniz. Opera. str. 775. (Cytata wzięta z E. Meyerson'a l. c. str. 171).

**) Cytata wzięta z „Mechaniki teoretycznej“ J. N. Franke'go. Warszawa. 1889, str. XXII.

***) Sformułowane według H. Poincaré'go „Thermodynamique“ str. 9.

wieku, odbiło się na początkowem ujmowaniu zjawisk cieplnych. Że ciepło może być ruchem cząsteczek, tej możliwości nie zaprzeczają nawet Lavoisier i Laplace, z których pierwszy był stanowczym zwolennikiem teorii ciepłika. Wpływ jednak prac Newton'a z jednej strony, coraz dokładniejsze badanie zjawisk cieplnych z drugiej przechyliły stanowczo szalę na stronę teorii ciepłika. Hypoteza ta wykopała przepaść między zjawiskami mechanicznymi i cieplnymi. Zasada zachowania rozpadła się wtedy jakby na dwie części. Z jednej strony obowiązywała ona poniekąd w zjawiskach czysto mechanicznych, z drugiej w zjawiskach czysto cieplnych pod postacią „niezniszczalności ciepłika“. Ten sztuczny podział nie długo dał się utrzymać. Od początku wieku 19-go mnożą się prace, przygotowujące poniekąd-ostateczne sformułowanie zasady zachowania energii. Tak w 1803 r. Łazarz Carnot wprowadza pojęcie „siły żywej utajonej“, odpowiadającej obecnej energii potencjalnej, syn jego Mikołaj w notatkach swoich, jakeśmy to wyżej widzieli, przeprowadza zasadę równoważności energii cieplnej i mechanicznej. W 1839 roku inżynier francuzki Séguin w pracy „O wpływie kolei żelaznych, sztuce ich wytykania i budowania“ wypowiada, co następuje:

„Ponieważ jednak teorya obecnie przyjmowana prowadziłaby do takiego wyniku (t. zn. perpetuum mobile), wydaje mi się bardziej naturalnem założenie, że pewna ilość kaloryi znika w samym akcie wytwarzania siły lub potęgi mechanicznej i odwrotnie; i że te dwa zjawiska są między sobą złączone warunkami, które im wyznaczają niezmiennie stosunki“ *).

Myśl ta jednak nie została nigdzie przez niego rozwinięta i uogólniona. Zaszczyt postawienia zasady zachowania energii w całej jej rozciągłości przypadł nie fizykowi, lecz lekarzowi—Mayerowi.

Mayer (Julius Robert) urodził się 15 listopada 1814 r. w Heilbronn. W rodzinnem mieście ukończył gimnazjum i następnie udał się w 1832 roku na uniwersytet do Tybingi (Tübingen). Los zdarzył, że w czasie pobytu Mayer'a w tym uniwersytecie katedra fizyki wakowała, i Mayer nie mógł przesłuchać całkowitego kursu fizyki, co sprawiło, że nie miał później systematycznych wiadomości z tej dziedziny. W Tybindze pozostawał nie długo;

*) Cytata wzięta z E. Meyerson'a l. c. str. 174.

za należenie do tajnego stowarzyszenia został z uniwersytetu wydalony. Udał się wtedy do Monachium, a następnie do Wiednia; wreszcie w 1838 roku pozwolono mu zdawać w Tybindze egzamin doktorski. Po ukończeniu uniwersytetu Mayer wstąpił w charakterze lekarza do marynarki holenderskiej i w 1840 roku odpłynął na Jawę. W tej to podróży nagle, jak sam twierdzi, przy puszczeniu krwi marynarzom w porcie Surabaya błysnęła mu myśl, która od tego czasu miała być treścią jego życia. Okoliczności były następujące: zauważył on, że kolor krwi płynącej z żył był tak jasny, jak gdyby krew płynęła z tętnic. Na pytania jego w tym względzie objaśniono mu, że jest to fakt ogólny pod zwrotnikami; Mayer wkrótce znalazł zupełne wytłómaczenie tego zjawiska w zmniejszeniu procesów utleniania: wobec wysokiej temperatury zewnętrznej ciała mniej spala substancji dla zachowania swej własnej temperatury. Zdaje się jednak, że ani ten fakt, ani uwaga starego pilota, że morze po burzy bywa zazwyczaj cieplejsze, nie naprowadziły Mayer'a bezpośrednio na myśl o zachowaniu energii; były one, prawdopodobnie, jeszcze jednym potwierdzeniem jego uprzednich założeń. Założenia te zostały wyraźnie wypowiedziane w niżej przytoczonej pracy p. t. „Uwagi o siłach nieożywionej przyrody“. Opierając się na zasadzie przyczynowości, Mayer dowodzi, że przyczyny wywołujące zjawiska fizyczne z natury swojej nie mogą ulegać zniszczeniu, lecz jedynie przeobrażeniu, przyjmując na siebie postać tego skutku, który wywołują. Takimi przyczynami są według Mayer'a „siły“ i materya. Termin „siła“ jest jednak użyty przez Mayer'a w znaczeniu zupełnie innym, niż to, które podówczas nadawano temu wyrazowi. Jak to jasno wynika z treści rozprawy, przez słowo to Mayer rozumiał energię. Energia i materya są więc jedynymi przyczynami zjawisk, zachodzących w otaczającym nas świecie.

Założywszy przeto niezniszczalność przyczyn, otrzymamy z jednej strony twierdzenie o niezniszczalności materyi, z drugiej — zasadę zachowania energii. Te założenia Mayer'a różnią się jedynie bardziej społecznym sposobem wypowiedzenia od założeń Descartes'a. I jedno i drugie nie mogą być uzasadnione doświadczalnie, mogą być jedynie sprawdzone przez doświadczenie. Sam Mayer tego rodzaju sprawdzenia nie dokonał, jednak w swojej rozprawie wytknął drogę, na której mogłoby ono być dokonane. Stosując zasadę, przez siebie sformułowaną, do przemiany energii ruchu w energię cieplną, pierwszy podał przybliżoną wartość mechanicznego równoważnika ciepła. Myśli te, olbrzymiej dla

fizyki doniosłości, pojawiły się w druku w 1842 r. w „Rocznikach chemii i farmacji“, wydawanych przez Liebig'a, uczonego o szerokich poglądach. Powodem bezpośrednim tego, że Mayer zwrócił się ze swą rozprawą do miesięcznika chemicznego, a nie fizycznego był zatarg jego z Poggendorffem, podówczas redaktorem najpoważniejszego z pism fizycznych niemieckich: „Roczniki fizyki i chemii“. Jeszcze w 1841 r. Mayer przesłał Poggendorff'owi pierwszą swoją pracę „O ilościowym i jakościowym oznaczeniu sił“. Z powodów bliżej nieznanych Poggendorff nie tylko nie wydrukował pracy Mayer'a, lecz nawet mu nie odpisał i nie zwrócił rękopisu. (Praca ta została ogłoszona drukiem dopiero w 1877 r. po śmierci Poggendorffa).

Ogłoszenie „Uwag o siłach nieożywionej przyrody“ nie naprawiło stosunków Mayer'a z oficjalnym światem fizyków, przeciwnie nawet od tej chwili zaczęła się gorąca walka o wydarcie Mayer'owi pierwszeństwa i ostentacyjne lekceważenie jego prac, dochodzące do tego, że pracą swą następną „O ruchu organicznym w jego związku z przemianą materii“ musiał ogłosić w 1844 r. swoim kosztem. To wszystko silnie podkopało zdrowie Mayer'a. 28 maja 1850 r. w napadzie gorączki wyskoczył on oknem i złamał obie nogi. Skorzystano z tego wypadku, i mimo, że w końcu tegoż roku wykończył on swe cenne „Uwagi o mechanicznym równoważniku ciepła“, został zamknięty w domu waryatów, gdzie wśród najcięższych warunków przebył dwa lata. Ze szpitala wyszedł zupełnie złamany. Ostatnie lata życia spędził w takim odosobnieniu, że w 1858 r. Liebig, mówiąc w jednym ze swych odczytów o jego zasługach, twierdził, że „umarł on niestety w domu waryatów“. Dopiero pod koniec życia doczekał się powszechnego uznania. Umarł w 1878 roku. Odkrycie olbrzymiej wagi, którego dokonał, nie tylko, jak trafnie robi uwagę W. Ostwald, nie przyniosło mu szczęścia, lecz przeciwnie uczyniło go na całe życie nieszczęśliwym.

Uwagi o siłach przyrody nieożywionej.

(Annalen der Chemie und Pharmacie. 1842. T. XLII str. 233 *).

Celem podanych niżej wierszy jest znalezienie odpowiedzi na pytanie, co rozumiemy przez „siły“ i jak się one względem siebie zachowują. Gdy przez nazwę „materya“ nadajemy przedmiotowi bardzo oznaczone własności, jako to ciężkość, zajmowanie miejsca w przestrzeni, z nazwą siły łączy się przedewszystkiem pojęcie czegoś nieznanego, niezbadanego, hypotetycznego. Próba nadania pojęciu siły równej dokładności, jaką posiada pojęcie materyi, i wyznaczenia tym sposobem przedmiotów istotnego badania nie powinna być wraz z wypływającymi stąd wnioskami nieprzychylnie przyjęta przez zwolenników jasnego, wolnego od hipotez poglądu na przyrodę.

Siły są przyczynami; wobec tego można do nich całkowicie zastosować podstawowe twierdzenie: *causa aequat effectum* **). Jeżeli przyczyna *c* ma działanie *e*, to $c=e$;

*) „Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur“ von Robert Mayer. Nie mając możności znaleźć pracy Mayera w oryginalnem wydaniu, posługiwaliśmy się przy jej tłómaczeuiu przedrukiem w „Voigtländer's Quellenbücher“, Tom 12 „Robert Mayer. Über die Erhaltung der Kraft“ herausgegeben von Dr. Albert Neuburger. Przedruk ten nie jest jednak kompletny. Niektóre ustępy, jak zaznacza w przedmowie wydawca, zostały opuszczone. Niestety, opuszczenia te w tekście nie zostały zaznaczone.

***) Przyczyna równa się skutkowi.

jeżeli znów e jest przyczyną innego działania f , to $e=f$, i stąd $c=e=f\dots =c$. W łańcuchu przyczyn i działań żaden wyraz, jak to z samej istoty równania wynika, ani żadna część wyrazu nie może stać się zerem. Tę pierwszą własność wszystkich przyczyn nazywamy ich *niezniszczalnością*.

Jeżeli dana przyczyna c wywołała równe sobie działanie e , to tym sposobem c przestało istnieć; c stało się e ; gdyby po wywołaniu e , c pozostało częściowo lub w całości, to tej pozostałej przyczynie musiałoby odpowiadać jeszcze dalsze działanie, c byłoby przeto naogół $> e$, co jest przeciwne założeniu $c=e$. Ponieważ tym sposobem przeszło c w e , e w f i t. d., musimy te wielkości uważać za różne postacie zjawiskowe jednego i tego samego przedmiotu. Zdolność przybierania różnych postaci jest drugą istotną własnością wszystkich przyczyn. Złączywszy obiedwie własności powiemy: przyczyny są przedmiotami (ilościowo) *niezniszczalnymi* i (jakościowo) *przemiennymi*.

W przyrodzie istnieją się dwa rodzaje przyczyn, między którymi, jak wykazuje doświadczenie, niema żadnego przejścia. Jeden rodzaj tworzą przyczyny, posiadające własności ważkości i nieprzenikliwości — materye; drugi — przyczyny, nie mające owych własności — siły, z powodu wyżej wspomnianych ujemnych własności nazywane też *nieważkami*. Siły są więc przedmiotami *niezniszczalnymi*, *przemiennymi* i *nieważkami*.

Przyczyna, wywołująca podniesienie ciężaru, jest siłą; działanie jej, podniesiony ciężar, jest również siłą; ogólniej można to wyrazić w ten sposób: przestrzenna różnica przedmiotów ważkich, jest siłą; ponieważ ta siła wywołuje spadek ciał, nazywamy ją siłą spadku¹⁾. Siła spadku i spadek, i ogólniej siła spadku i ruch są siłami²⁾, które się zachowują, jak przyczyna i działanie, siłami, przechodzącymi jedna w drugą, dwiema różnymi postaciami zjawiskowymi jednego i tego samego przedmiotu. Przykład: ciężar spoczywający na ziemi nie jest siłą; nie jest on przyczyną ani ruchu, ani podniesienia innego ciężaru; będzie nią jednak w stopniu, na jaki go podniesiemy

ponad ziemię; przyczyna, odległość ciężaru od ziemi, i działanie, wywiązana ilość ruchu³⁾, są, jak o tem wiadomo z mechaniki, w oznaczonym związku.

O ile się uważa ciężkość jako przyczynę spadku, mówi się o sile ciężkości i miesza się tym sposobem pojęcie siły i własności.... Jeżeli nazywamy ciężkość siłą, to myślimy o przyczynie, która wywiera działanie, sama się nie zmniejszając, co pociąga za sobą nieprawidłowe wyobrażenie o przyczynowej zależności rzeczy. Aby ciało mogło upaść, do tego jest równie potrzebnem jego podniesienie, jak i jego ciężar, nie można więc jedynie ciężarowi przypisywać spadku ciał.

W niezliczonych wypadkach widzimy, jak ruch ustaje, przyczem nie wywołuje on innego ruchu lub podniesienia ciężaru; siła jednak, która raz istniała, nie może stać się zerem; zjawia się przeto pytanie, jaką dalszą postać może przybrać siła, którąśmy poznali jako siłę spadku lub ruch. Odpowiedź na to pytanie może nam dać jedynie doświadczenie. Aby celowo wykonać doświadczenie, musimy wybrać takie narzędzie, które pozatem, że istotnie mogłoby wywołać ustanie ruchu, ulegałoby możliwie małym zmianom pod wpływem przedmiotów użytych do badania. Jeżeli np. potrzebny jedną płytą metalową o drugą, to zobaczymy, że ruch znika, a za to występuje ciepło; zjawia się więc pytanie, czy r u c h jest przyczyną ciepła? Aby się upewnić co do tego stosunku, musimy roztrząsnąć pytanie, czy w niezliczonych wypadkach, kiedy kosztem ruchu zjawia się ciepło, ruch nie wywiera innego działania poza wytwarzaniem ciepła, i czy ciepło nie ma innej przyczyny poza ruchem?

Tak samo, jak nie można zdać sobie sprawy ze znikania ruchu bez uznania przyczynowego związku między ruchem i ciepłem, nie można również wyjaśnić bez pomocy tego założenia powstawania ciepła tarcia. Nie może ono być objaśnione zmniejszeniem objętości trących się ciał. Można bowiem stopić przy pomocy tarcia dwa kawałki lodu w próżni...

Woda przez silne wstrząsanie doznaje, jak to znalazł autor, podniesienia temperatury. Woda nagrzana (od 12° do 13° C) przybiera po wstrząsaniu większą objętość, niż przed wstrząsaniem, skąd więc pochodzi ilość ciepła, którą można dowolnie często wywołać w tym samym przyrządzie przez powtarzanie wstrząsania? Hypoteza drgań cieplnych skłania się ku twierdzeniu, że ciepło jest skutkiem ruchu, nie obejmuje jednak w całości tego stosunku przyczynowego, lecz główny nacisk kładzie na owe niemiłe drgania.

Jeżeli więc jest wykluczonem, aby dla znikającego ruchu można było w wielu wypadkach (exceptio confirmat regulam*) znaleźć inne działanie, niż ciepło, — dla powstającego ciepła inną przyczynę, niż ruch, to oddamy pierwszeństwo założeniu, że ciepło powstaje z ruchu, a nie założeniu, że przyczyna istnieje bez działania, i działanie bez przyczyny. Tak samo postępuje chemik, gdy zakłada istnienie związku między H i O z jednej i wodą z drugiej strony, zamiast przypuszczać, że H i O znikają bez śladu, a woda powstaje w niewyjaśniony sposób.

Naturalny związek, zachodzący między siłą spadku, ruchem i ciepłem, możemy sobie uzmysłowić w sposób następujący. Wiemy, że ciepło zjawia się wtedy, gdy oddzielne cząstki masy danego ciała zbliżają się ku sobie, zgęszczenie wzbudza ciepło; to, co obowiązuje najmniejsze cząstki masy i najmniejsze przestrzenie, leżące między niemi, musi również znaleźć swe zastosowanie do dużych mas i do przestrzeni, które można zmierzyć. Spadek ciężaru jest istotnem zmniejszeniem się objętości ciała ziemi, musi więc być z nim w związku ciepło, które się wtedy wywiązuje; ciepło to musi być dokładnie proporcjonalne do wielkości ciężaru i początkowej jego odległości...

Tak samo jednak, jak ze związku, zachodzącego między siłą spadku i ruchem, nie możemy wnioskować: istotą siły spadku jest ruch, nie możemy również wyciągnąć takiego wniosku dla ciepła. Możemy raczej uważać, że ruch, czy

*) Wyjątek potwierdza prawo.

on jest ruchem prostym, czy też drgającym, jak światło, promieniowanie cieplne i t. d., musi, aby mógł stać się ciepłem, ustać, przestać być ruchem⁴⁾. Jeżeli siła spadku i ruch równa się ciepłu, to ciepło musi być, rzecz prosta, równe ruchowi i sile spadku. Tak, jak ciepło powstaje, jako działanie przy zmniejszaniu się objętości i ustawianiu ruchu, tak samo ciepło, jako przyczyna, znika przy powstaniu swoich działań, ruchu, powiększeniu objętości, podniesieniu ciężaru.

W maszynach wodnych powstający i znów znikający ruch wytwarza ciągle znaczne ilości ciepła, kosztem zmniejszenia się objętości, jakiego doznaje ciało ziemi przez spadek wody; odwrotnie, maszyny parowe służą znów do zamiany ciepła na ruch lub podniesienie ciężaru. Lokomotywa ze swym pociągami może być porównana do aparatu destylacyjnego; umieszczone pod kotłem ciepło przechodzi w ruch, ruch zaś na osiach kół przechodzi w znacznej ilości w ciepło.

Kończymy nasze twierdzenia, które siłą rzeczy wynikają z założenia „*causa aequat effectum*“ i są w zupełnej zgodzie ze wszystkimi zjawiskami przyrody, wnioskiem natury praktycznej. Dla rozwiązania równania, zachodzącego między siłą spadku i ruchem, musi być wyznaczona doświadczalnie droga spadku w przeciągu pewnego określonego czasu, np. pierwszej sekundy; tak samo dla rozwiązania równania, zachodzącego między siłą spadku i ruchem z jednej i ciepłem z drugiej strony, musimy odpowiedzieć na pytanie, jak wielką jest ilość ciepła, odpowiadająca oznaczonej ilości siły spadku lub ruchu? Musimy np. znaleźć, jak wysoko należy podnieść pewien ciężar nad powierzchnię ziemi, żeby jego siła spadku była równoważna ogrzaniu równej wagi wody od 0° do 1° C? To, że podobne równanie istotnie w przyrodzie zachodzi, może być uważane za ostateczny wynik poprzedzających ustępów.

Stosując wyżej ustalone twierdzenia do ciepła i zmian objętości gazów, znajdujemy, że spadek słupa rtęci, ciśnącego na gaz, równy jest ilości ciepła, wywołanego dzięki ścisnaniu; stąd zaś wynika — przy założeniu, że stosunek pojemności cieplnej powietrza atmosferycznego pod stałym

ciśnieniem i w stałej objętości = 1,421, że spadek ciężaru z wysokości około 365 m. odpowiada ogrzaniu równego ciężaru wody od 0° do 1° C⁵⁾. Jeżeli z tym wynikiem porównamy wydajność naszych najlepszych machin parowych, zobaczymy, jak mała cząstka ciepła, użytego pod kotłem, jest istotnie zamieniana na ruch lub podniesienie ciężaru to może służyć za usprawiedliwienie prób, dążących do wytworzenia ruchu na innej drodze, niż zniweczenie różnicy chemicznej między *C* i *O*, a mianowicie — przez przemianę w ruch elektryczności, otrzymanej na drodze chemicznej.

UWAGI.

¹⁾ (Str. 227) Jest to we współczesnej terminologii „energia położenia“.

²⁾ (Str. 227) Przez „ruch“ należy tu rozumieć „energię ruchu“.

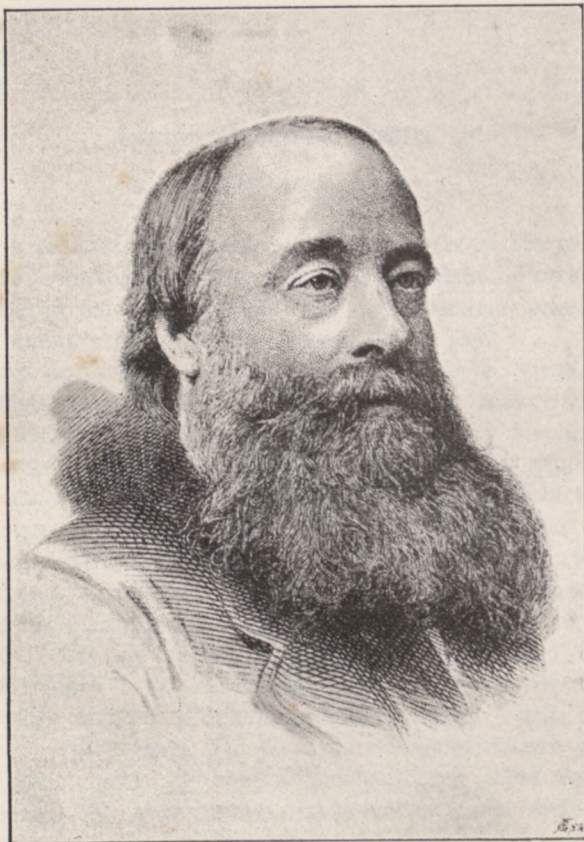
³⁾ (Str. 228) Jest to błąd; należy powiedzieć „siła żywa“.

⁴⁾ (Str. 230) Jak widać z tego ustępu, Mayer nie uzależniał prawdziwości zasady zachowania energii od tego, czy ciepło jest ruchem czy też nie. Dla niego była to⁶⁾ zasada ogólna, niezależna od różnych ubocznych hipotez.

⁵⁾ (Str. 231) To wyliczenie mechanicznego równoważnika opiera się na następującem rozumowaniu: Spadek słupa rtęci, ciśnącego na gaz, i tem samym zmniejszenie objętości gazu możemy otrzymać ochładzając gaz np.⁷⁾ o 1° . Ciepło oddane wtedy przez gaz będzie = $m \cdot c_p$, gdzie m — masa gazu; c_p — ciepło właściwe pod stałym ciśnieniem. Zmniejszwszy tym sposobem objętość, ogrzejmy znown ten sam gaz o 1° , żeby przybrał początkową temperaturę. Ciepło udzielone wtedy gazowi będzie = $m \cdot c_v$, gdzie c_v — ciepło właściwe w stałej objętości. Doświadczenie wykazuje, że ciepło oddane przez gaz — mc_p jest większe od ciepła udzielonego gazowi mc_v . Mamy przeto pewien zysk na ciepłe, gdyż gaz znnowu jest przy tej samej temperaturze. Zysk ten nie może pochodzić z samego zmniejszenia objętości gazu, gdyż, jak

tego dowiódł Gay-Lussac w 1807 r., gaz, zmieniając swą objętość bez wykonywania pracy, nie zmienia swej temperatury. Przyczynę tego zysku Mayer widzi w pracy, wykonanej przez słup rtęci przy zmniejszaniu się objętości gazu. Istotnie, rtęć, opadając, utrzymuje poprzednią prężność gazu kosztem swej energii potencjalnej. Praca ta równa się $p\Delta v$, gdzie p — prężność gazu, Δv — zmiana objętości, wywołana przez ochłodzenie o 1° . Stąd wynika, że zysk na ciepłe $m(c_p - c_v)$ jest cieplnym równoważnikiem wykonanej pracy mechanicznej $p\Delta v$. Przeto mechaniczny równoważnik ciepła

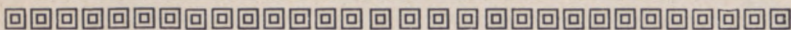
$$J = \frac{p \cdot \Delta v \text{ kgm.}}{m(c_p - c_v) \text{ kal.}}$$



JAMES PRESCOTT JOULE.

THE HISTORY OF THE
THE HISTORY OF THE
THE HISTORY OF THE





James Prescott Joule.

(1818—1889).

Prawie jednocześnie z pracą Mayer'a ukazała się w 1843 r. praca Joule'a, traktująca o tem samym zagadnieniu. Praca ta stanowiła poniekąd dalszy ciąg badań nad ogrzewaniem przewodnika przez prąd elektryczny, przedsięwziętych przed 1840 r.

Znalazł on wtedy, że całkowita ilość ciepła, wywiązanego w przewodniku, równa się ciepłu, powstającemu z reakcyi chemicznych w ogniwie. Ten godny uwagi związek między energią, wytwarzającą prąd elektryczny, i energią, powstającą z prądu elektrycznego, zachęcił go do poddania bliższemu rozpatrzeniu wypadku bardziej złożonego, gdy prąd elektryczny otrzymywany jest z maszyn magnetoelektrycznych. O ile bowiem w pierwszym wypadku może zachodzić wątpliwość, czy ciepło, otrzymane w przewodniku, nie jest wprost przeniesione z ogniwa, gdzie powstaje z reakcyi chemicznych, i czy nie zachodzi tu raczej tylko zmiana rozkładu ciepła w obwodzie, o tyle w drugim wypadku wątpliwości tej być nie może, gdyż nigdzie w obwodzie niema źródła ciepła. Stwierdziwszy, że i wtedy może być wytworzone ciepło, Joule zmierzył stosunek ilości ciepła do energii mechanicznej. Tym sposobem otrzymał liczbę 838 stopofuntów, jako mechaniczny równoważnik ciepła. Głęboki i systematyczny umysł Joule'a nie zadowolnił się tem pojedynczym sprawdzeniem zasady równoważności energii mechanicznej i cieplnej, zasady wiążącej, co Joule doskonale rozumiał, wszystkie zjawiska przyrody, gdyż wszystkie procesy mogą być ostatecznie zamienione na procesy cieplne. Od czasu ogłoszenia tej drugiej pracy zaczyna się systematyczna długoletnia praca Joule'a początkowo nad dalszym stwierdzeniem tej równoważności, później zaś nad dokładnem wyznaczeniem mechanicznego równoważnika ciepła.

Wątpliwą jest jednak rzeczą, aby same dane doświadczalne mogły go doprowadzić do stwierdzenia zasady zachowania. Jak Descartes, jak Mayer, miał Joule, przystępując do doświadczeń, przekonanie o słuszności tej zasady. W jednym z późniejszych pism wyraźnie się w tym względzie wypowiada:

„Moglibyśmy wyprowadzić a priori, że takie bezwzględne zniszczenie siły żywej ($\frac{mv^2}{2}$) nie mogłoby zachodzić, gdyż jest oczywistym absurdem przypuszczenie, że potęgi, któremi Bóg obdarzył naturę, mogą być zniszczone lub stworzone przez człowieka“^{*)}.

I dla Joule'a więc doświadczenia były jedynie sprawdzianem. Prace Joule'a znakomicie utrwaliły zasadę zachowania energii, dając jej potężną podstawę doświadczalną.

Joule (James Prescott) urodził się 24 grudnia 1818 r. w Manchesterze, umarł 11 października 1889 r. w Sale pod Manchester'em. Pochodząc z rodziny piwowarów (dziad i ojciec Joule'a byli piwowarami), był sam z fachu piwowarem i do 1854 r. prowadził osobiście browar. W młodości uczył się chemii od sławnego chemika Dalton'a; być może, że to rozwinęło w nim skłonności do badań naukowych.

Ojciec jego urządził mu laboratorium we własnym domu. Z tego laboratorium w Oak Field pod Manchester'em wyszły pierwsze prace Joule'a; między innymi praca niżej podana.

*) Cytata, wzięta z E. Mach'a l. c. str. 260.

O zmianach temperatury, wywołanych przez rozrzedzenie i zgęszczenie powietrza *).

(Phil. Magazine. Serya 3. XXVI str. 369 rok 1845).

W pracy**), odczytanej w sekcji chemicznej British Association w Cork, posługiwałem się pięknym odkryciem magneto-elektryczności, dokonaniem przez Dr. Faradaya, w celu ustalenia określonych związków między ciepłem i zwykłymi postaciami potęgi mechanicznej. W pracy tej było doświadczalnie wykazane, że potęga mechaniczna, używana przy obracaniu maszyny magneto-elektrycznej, jest zamieniana w ciepło, powstające przy przechodzeniu przez zwoje prądów indukcyjnych, oraz że, z drugiej strony, potęga poruszająca maszyny elektromagnetycznej jest otrzymywana kosztem ciepła, powstającego z reakcji chemicznych w baterii, która ją porusza. Mam nadzieję, że i w przyszłości będę mógł podać do wiadomości kilka nowych i bardzo subtelnych doświadczeń¹⁾, mających na celu wyznaczenie mechanicznego równoważnika ciepła z dokładnością, jakiej wymaga jego doniosłość dla nauk fizycznych.

*) „On the changes of Temperature produced by the Rarefaction and Condensation of Air“. Tłóm. z przedruku w książce „The free expansion of gases“ edited by I. S. Ames, Ph. D. professor of physics in Johns Hopkins University. New-York and London. Harper and Brothers Publishers. 1898 str. 17 i nast. Jest to jeden z tomów wydawnictwa „Harper's scientific Memoirs“.

**) Philosoph. Magaz. Serya 3. Tom XXIII str. 263, 347, 435. 1843 r.

Obecnem mojem zadaniem jest zdanie sprawy z badań, w których, jak sądzę, udało mi się najzupełniej zastosować zasady, poparte poprzednimi doświadczeniami, do zmian temperatury, pochodzących ze zmian gęstości ciał gazowych; jest to badanie wielkiej wagi, zarówno z praktycznego, jak i z teoretycznego punktu widzenia, a to ze względu na jego związek z teorią maszyn parowych.

Jak się zdaje, Dr. Cullen i Dr. Darwin pierwsi obserwowali obniżenie się temperatury powietrza przy jego rozrzedzaniu i jej podnoszenie się przy zgęszczaniu powietrza. Następnie inni uczeni zwrócili uwagę na ten przedmiot. Jednak dopiero Dalton'owi²⁾ udało się zmierzyć zmianę temperatury z pewną dokładnością. Przez użycie nadzwyczaj dowcipnego sposobu sławny ten uczony wykazał, że, gdy powietrze było zgęszczone do połowy swej objętości początkowej, powstało około 50° ciepła, oraz, że z drugiej strony odpowiednie rozrzedzenie pochłania 50°^{*)}.

Są wszelkie dane, aby uważać, że wyniki, otrzymane przez Daltona, są bardzo bliskie prawdy³⁾, zwłaszcza, że były one dokładnie potwierdzone przez doświadczenia Dr. Ure, dokonane zapomocą termometru Breguet'a. Ale nasza znajomość ciepła właściwego płynów sprężystych posiada cechy takiej niepewności, że nie mogłaby nas upoważnić do próby wyprowadzenia stąd bezwzględnej ilości ciepła wytworzonego lub pochłoniętego. Udało mi się usunąć tę trudność przez zanurzenie mej pompy tłoczącej i zbiornika w dużej ilości wody, tak, że przeniosłem działanie cieplne na ciało, które jest powszechnie uważane za wzorzec pojemności⁴⁾.

Aparat mój będzie zrozumiały przy rozpatrzeniu fig. 30. C wyobraża pompę tłoczącą, składającą się ze spżowego walca i z dopasowanego tłoka o czopie z naoliwionej skóry, który, choć szczelny, z łatwością pracuje na przestrzeni 8 cali. Walec jest długi na 10^{1/2} cala, o wewnętrznej średnicy

*) Memoirs of the Literary and Philosophical Society of Manchester, Tom V, część 2, str. 251—525.

$1\frac{3}{8}$ cala i o grubości metalu $\frac{1}{4}$ cala. Rura *A* dla doprowadzania powietrza jest dopasowana do dolnej części walca.... Miedziany zbiornik *R* o długości 12 stóp, średnicy wewnętrznej $4\frac{1}{2}$ cala, grubości $\frac{1}{4}$ cala i pojemności $136\frac{1}{2}$ cali sześciennych może być w każdej chwili przyśrubowany do

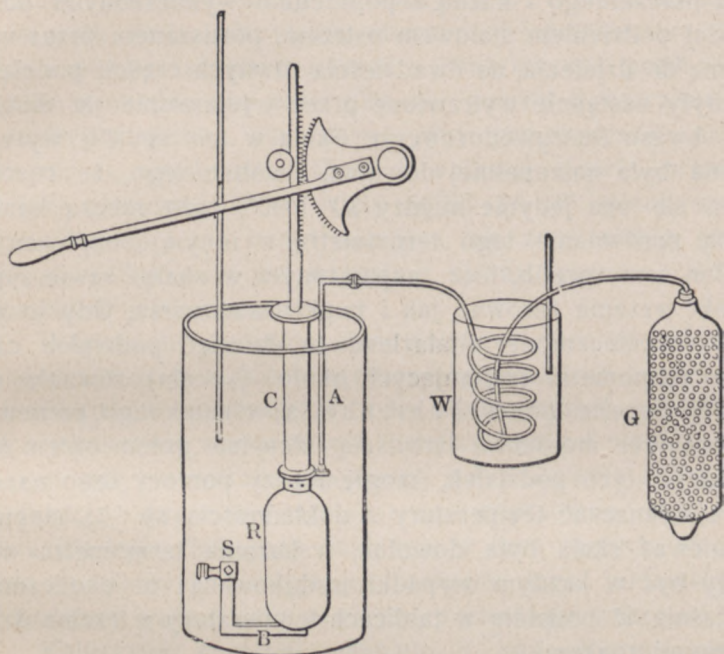


Fig. 30. Przyrząd Joule'a do zamiany pracy na ciepło.

pompy. Zbiornik ten jest zaopatrzony w rogową klapę stożkową otwierającą się na dół; u podstawy jest zaopatrzony w mosiężną część *B*, wzdłuż której jest prześwidrowany otwór o średnicy $\frac{1}{8}$ cala. W *S* znajduje się kran.... Przewidując, że zmiany temperatury dużej ilości wody, która była potrzebna, aby otoczyć pompę i zbiornik, będą bardzo małe, miałem dużo trudności w zaopatrzeniu się w termometr o nadzwyczajnej czułości i bardzo wielkiej dokładności. Gdy dobrałem rurkę szklaną o wązkim otworze, wprowadziłem do niej słupek rtęci długości 1 cala i posuwałem go stop-

niowo w ten sposób, że koniec słupka w jednym położeniu zgadzał się z początkiem słupka w sąsiednim. W każdym położeniu długość słupka była sprawdzana do $\frac{1}{4000}$ części cala, przy pomocy narzędzia, wynalezione go w tym celu przez p. Dancer. Następnie rurkę pokryłem warstewką wosku pszczelnego i każdą z poprzednio wymierzonych odległości podzieliłem stalowem ostrzem, poruszaniem przez maszynę do dzielenia, na dwadzieścia równych części; podziałości te były następnie wytrawione przez wystawienie na działanie kwasu fluorowodorowego. Skala w ten sposób wytworzona była najzupełniej dowolna, i wobec tego, że rozciągała się ona jedynie między 30° i 90° , było rzeczą konieczną porównanie tego termometru z innym, zbudowanym w ten sam sposób, lecz zaopatrzonym w skalę, zawierającą punkt wrzenia zarówno jak i punkt zamarzania. Gdy to zostało uskutecznione, znalazłem, że dziesięć podziałek czułego termometru (zajmujących około $\frac{1}{2}$ cala) równało się mniej więcej stopniowi Fahrenheit'a; wskutek tego, ponieważ w praktyce mogłem z łatwością odczytać gołem okiem $\frac{1}{20}$ każdej z tych podziałek, mogłem przy pomocy tego narzędzia wyznaczać temperatury z dokładnością do $\frac{1}{200}$ stopnia. Ponieważ skala była dowolna, wskazania termometru musiały być w każdym wypadku redukowane; ta okoliczność wyjaśnia, iż podałem w tablicach temperatury z trzema dziesiętnymi znakami.

Było rzeczą ważną użyć jako zbiornika wody naczynia, możliwie nieprzenikliwego dla ciepła. W tym celu zaopatrzyłem się w dwa naczynia z żelaza cynowanego — jedno w każdym kierunku o cal mniejsze od drugiego, mniejsze naczynie umieściłem w większem, i przestrzeń między obydwo ma szczelnie zamknąłem. Tym sposobem warstwa powietrza o tej samej prawie temperaturze, co i woda, jest utrzymana w zetknięciu ze ściankami i dnem naczynia wewnętrznego. Z innych sposobów, użytych dla zapewnienia dokładności, należy wspomnieć o odpowiednich zastłonach między naczyniami z wodą i eksperymentatorem.

Pierwsze moje doświadczenia były prowadzone w następujący sposób: Pompa i zbiornik miedziany były zanurzone w 45 funtach 3 uncjach⁵⁾ wody, do której był następnie włożony wyżej opisany czuły termometr; jednocześnie dwa inne termometry były użyte do wyznaczenia temperatury pokoju i wody w naczyniu *W*. Po doskonałym zmieszaniu wody, odczytałem starannie jej temperaturę. Następnie pompa zaczęła pracować z umiarkowaną prędkością dopóki w miedzianym zbiorniku nie zostały zgęszczone 22 atmosfery powietrza, osuszanego przy przechodzeniu przez naczynie *G*, napełnione małymi kawałkami chlorku wapnia. Po tych zabiegach, które zajęły od 15 do 20 minut, woda znowu była przez 5 minut mieszana tak, żeby ciepło rozeszło się jednakowo we wszystkie strony, poczem znowu odczytałem jej temperaturę.

Przyrost temperatury, obserwowany w ten sposób, powstaje częściowo wskutek zgęszczenia powietrza, częściowo zaś wskutek tarcia pompy i ruchu wody podczas mieszania. Dla wyznaczenia wartości tych ostatnich źródeł ciepła, zamknąłem rurę powietrzną *A*; pompa zaś pracowała z tą samą prędkością i przez ten sam czas, co i poprzednio; następnie zaś woda była zmieszana dokładnie w tych samych warunkach, co pierwej. Następujące wskutek tego podniesienie temperatury wskazywało na ciepło, pochodzące z tarcia i t. p.

Kalorymetr następnie usunięto, i, gdy zbiornik został zanurzony w wannie pneumatycznej, była zmierzona ilość powietrza, która w nim była zgęszczona, w sposób zazwyczaj używany, z poprawką na prężność pary etc. Wynik, dodany do 136,5 cali sześciennych, ilości zawartej poprzednio w zbiorniku, daje całkowitą ilość zgęszczonego powietrza.

TABLICA I.

Źródło ciepła	Liczba ude- rzeń pompy	Ciśnienie barometrycz.	Ilość zgęszcz powietrza w cal. sześć.	Temperatura dopływając. powietrza	Średnia tem- peratura po- koju	Różnica	Temperat. wody		Ciepło uzyskane
							przed do- świadcze- niem	po do- świadcze- niu	
Zgęszczenie etc.	300	30.06	3047	56,2	57,5	2.224—	54,930	55,622	0,692
Tarcie etc. . .	300				57,5	1.685—	55,652	55,979	0,327
Zgęszczenie etc.	300	30.07	2924	54,8	53,5	0.817+	53,970	54,664	0,694
Tarcie etc. . .	300				54,5	0.358+	54,675	55,042	0,36
Zgęszczenie etc.	300	30.24	2870	53,7	52,5	0.380+	52,562	53,197	0,635
Tarcie etc. . .	300				52,6	0.760+	53,197	53,524	0,327
Zgęszczenie etc.	300	30.07	2939	58,8	57,5	1.794—	55,359	56,053	0,694
Tarcie etc. . .	300				57,75	1.536—	6,053	56,375	0,322
Zgęszczenie etc.	300	30.34	2924	55,7	53,5	2.184+	55,409	55,959	0,550
Tarcie etc. . .	300				53,75	2.316+	55,962	56,170	0,20
Zgęszczenie etc.	300	30.40	3033	58,1	60,0	0.174+	59,876	60,472	0,596
Tarcie etc. . .	300				60,4	0.196+	60,478	60,713	0,235
Zgęszcz. przec.	300	30.20	2956	56,2		0.078—			0,643
Tarcie przec. .	300					0.068+			0,297
Wynik popraw.		30.20	2956						0,344

Ciepło to rozdzieliło się między 45 funt. 3 unc. wody, 20 $\frac{1}{2}$ funt. mosiądzu i miedzi i 6 funt. żelaza cynowanego. Było więc równoważne 13^o,628 na funt wody.

Siłę potrzebną do wykonania owego zgęszczenia można łatwo wyprowadzić z prawa Boyle'a i Mariotte'a, które sprawdza się, jak tego dowiedli akademicy francuscy, do ciśnienia 25 atmosfer.

Niech fig. 31 przedstawia walec, zamknięty na jednym końcu, którego długość wynosi 21.654 stopy i przekrój 11.376 cali kwadratowych⁶⁾. Wtedy jedna jego stopa będzie miała do-

kładnie tę samą pojemność, co zbiornik miedziany, użyty w doświadczeniach, i całkowita jego pojemność wyniesie 2956 cali sześciennych. Jest przeto oczywistem, że siła użyta do tłoczenia (przyczem pomijamy tarcie) będzie dokładnie równa tej, która wepchnęłaby tłok p na odległość jednej stopy od podstawy walca. Jeżeli wykluczmy ciśnienie zewnętrznej atmosfery, siła, działająca na tłok, gdy jest on u wierzchołka walca, będzie 168.5 funtów, co jest równoznaczne z ciężarem słupa rtęci o długości 30.2 cala i o przekroju 11.376 cali kwadratowych; w odległości zaś jednej stopy od podstawy będzie ona 21.654 razy większa, a więc 3648 funtów. Pole hyperboli, $abcd$, wyobrazi przeto siłę, użytą w tym zgęszczeniu, już z uwzględnieniem ciśnienia atmosferycznego. Stosując wzór dla pól hyperbolicznych, mamy

$$S = 3648,7 \times 2,302585 \times \log 21,654 = 11220,2$$

Siła wydatkowana na zgęszczenie była przeto równoważna sile, która może podnieść 11220.2 funtów na prostopadłą wysokość jednej stopy.

Porównawszy to z ilością ciepła wywiązanego mamy $\frac{11220,2}{13^{\circ},628} = \frac{823}{1^{\circ}}$. Tak, że musimy przy zgęszczeniu powietrza użyć siły mechanicznej, mogącej podnieść 823 funt. na wysokość 1 stopy, w celu podniesienia temperatury funta wody o jeden stopień skali Fahrenheit'a⁷⁾.

Mechaniczny równoważnik ciepła, wyprowadzony z poprzednich doświadczeń był tak blizki 838 funtów *) — a był

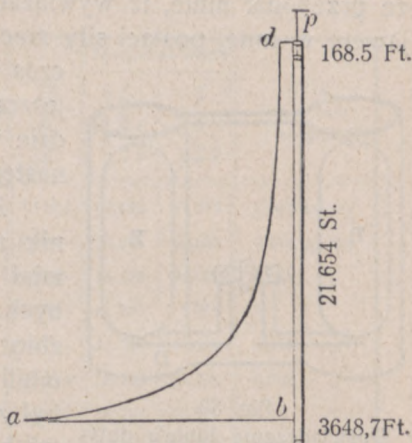


Fig. 31. Wykres pracy zużytej przy zgęszczeniu gazu.

*) Phil. Magazine. Serya 3. Tom XXIII, str. 441.

to wynik doświadczeń magnetycznych, w których nie można było podejrzewać jakiegokolwiek domieszki „ciepła utajonego“ — że przekonał mnie, iż wywiązane ciepło było poprostu przejawem w innej postaci siły mechanicznej, wydatkowanej podczas zgęszczenia. Umocniłem się

jeszcze następnie w takim poglądzie na to zagadnienie zapomocą następujących doświadczeń:

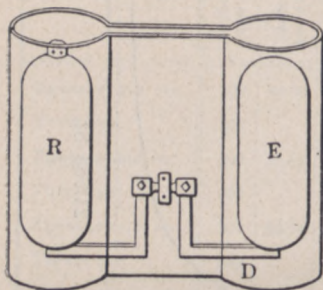


Fig. 32.

Doświadczenie Joule'a dotyczące rozprężania się gazów.

Zaopatrzyłem się w inny zbiornik miedziany (*E*, fig. 32), który miał pojemność 134 cali sześciennych. Podobny do poprzedniego zbiornika, z którym mógł się komunikować zapomocą łącznika, był zaopatrzony w część *D*, w której był otwór o średnicy $\frac{1}{8}$ cala; otwór mógł być szczelnie zamknięty za pomocą odpowiedniego krana.

Po napełnieniu zbiornika *R* (fig. 32) mniej więcej 22 atmosferami suchego powietrza i po opróżnieniu zbiornika *E* przy pomocy pompy pneumatycznej, ześrubowałem je razem i umieściłem w naczyniu blaszanym, zawierającym $16\frac{1}{2}$ funta wody. Woda była uprzednio dokładnie zmieszana, i temperatura jej była zmierzona tym samym czułym termometrem, który był zrobiony dla poprzedniego doświadczenia. Krany zostały wtedy otwarte zapomocą odpowiedniego klucza, co pozwoliło powietrzu przechodzić ze zbiornika pełnego do próżnego, dopóki nie ustaliła się między obydwoma zbiornikami równowaga. Następnie, woda była znów zamieszana, i temperatura jej starannie odczytana. Następująca tablica zawiera wyniki szeregu doświadczeń w ten sposób prowadzonych, naprzemian z innymi, wykonanymi dla wyrugowania skutków mieszania, parowania i t. d.

*) Phil. Mag. Serya 3. Tom XXIII str. 441.

TABLICA III.

Rodzaj doświadczenia	Ciśnienie barometryczne	Ilość powietrza zgęszczonego w zbiorniku R w cal. sześć.	Przeciętna temperatura pokoju	Różnica	Temperat. wody		Zysk lub strata ciepła
					przed doświadczeniem	po doświadczeniu	
Rozprężenie	0.20	2910	57.4	0.118+	57.520	57.517	0.003 straty
Dośw. sprawdz.			57.0	0.906-	56.085	56.103	0.018 zysku
Rozprężenie	30.44	2920	57.0	0.885-	56.103	56.128	0.025 „
Dośw. sprawdz.			62.0	0.783-	61.217	1.217	0
Rozprężenie	0.44	2910	62.1	0.873-	61.222	61.232	0.010 „
Dośw. sprawdz.			58.5	0.233+	58.732	58.735	0.003 „
Rozprężenie	30.44	2915	58.6	0.132+	58.732	58.732	0
Dośw. sprawdz.			61.3	0.787-	60.508	60.518	0.010 „
Rozprężenie	30.46	3200	61.3	0.780-	60.518	60.523	0.005 „
Dośw. sprawdz.			58.0	0.186+	58.184	58.187	0.003 „
Rozprężenie	30.50	2880	58.3	0.110-	58.190	58.190	0
Przec. z dośw. nad rozprężen.	30.41	2956		0.400-			0.0062 zysku
Przec. z dośw. sprawdzających				0.411-			0.0068 „
Wynik popraw.	30.41	2956					

Wobec tego, że różnica między przeciętnymi rozprężeniami i doświadczeniami sprawdzających jest dokładnie taka, jaką znaleziono dla ogrzewającego działania temperatury pokoju w doświadczeniach sprawdzających, dochodzimy do wniosku, że nie zachodzi zmiana temperatury, gdy rozprężamy powietrze tak, aby nie wytwarzało potęgi mechanicznej.

W celu zanalizowania wyżej podanych doświadczeń odwróciłem zbiorniki, jak to wskazuje fig. 33, i zanurzyłem je, zarówno, jak i rurę łączącą, w oddzielnych naczyniach

z wodą. Jeden ze zbiorników zawierał 2828 cali sześciennych zgęszczonego suchego powietrza, podczas gdy drugi był opróżniony. Gdy równowaga została przywrócona przez otwarcie kрана, znalazłem, że w zbiorniku, z którego powietrze uchodziło, powstawało 2°,36 zimna na funt wody, podczas gdy w drugim zbiorniku wywiązało się 2°38 ciepła, jak również 0°,31 ciepła w naczyniu, w którym była zanurzona rura łącząca,

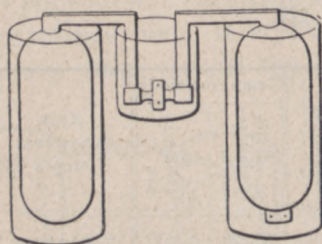


Fig. 33.

Doświadczenia Joule'a, dotyczące przemian ciepłych przy rozprężaniu się gazów.

tak że suma całości sprowadzała się prawie do zera. Nie wielka przewyżka ciepła pochodziła ze straty zimna podczas przejścia powietrza z napełnionego naczynia do kрана przez część rury, która nie mogła być zanurzona w wodzie.

Następnie był wykonany szereg doświadczeń w następujący sposób: zbiornik był napełniony suchym, zgęszczonym powietrzem, u wylotu zaś była, jak to wyobraża fig. 34, mocno przyśrubowana skręcona rura ołowiana, o średnicy wewnętrznej = $\frac{1}{4}$ cala i o długości 12 jardów. Całość była

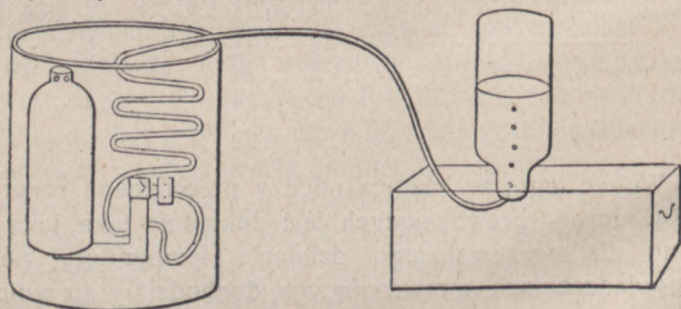


Fig. 34. Przemiana ciepła na pracę przy rozprężaniu się gazu.

zanurzona w owalnym naczyniu, zbudowanym, jak wyżej opisane, i również z góry była możliwie szczelnie przykryta. Po odczytaniu temperatury wody za pomocą czułego termometru poprzednio użytego, otworzono kran, i powietrze prze-

szło ze zbiornika przez wannę pneumatyczną do klosza, w którym zbierano je starannie. Kiedy powietrze w zbiorniku zostało sprowadzone do ciśnienia atmosferycznego, woda znowu została dobrze zamieszana i temperatura jej odczytana. Po każdym z tych doświadczeń były wykonywane pomiary w celu wyrugowania skutków mieszania i t. d.

TABLICA IV.

Rodzaj doświadczenia	Ciśnienie barometryczne	Ilość powietrza zgęszczonego	Ilość powietrza wypuszczonego	Przebiegowa temperatura pokoju	Różnica	Temperat. wody		Zysk lub strata ciepła
						przed doświadczeniem	po doświadczeniu	
Rozprężenie .	30.04	2862	2726	55,7	0.405+	56.207	55.004	0.203 straty
Dośw. sprawdz.				55,4	0.579+	56.004	55.954	0.050 „
Rozprężenie .	30.10	2807	2670	54,6	0.022+	54.714	54.530	0.184 „
Dośw. sprawdz.				54,25	0.276+	54.536	54.516	0.020 „
Rozprężenie .	30.10	2723	2587	53,6	0.760+	54.460	54.259	0.201 „
Dośw. sprawdz.				53,4	0.839+	54.259	54.219	0.040 „
Rozprężenie .	30.10	2807	2670	49,05	0.307+	49.456	49.258	0.198 „
Dośw. sprawdz.				49,1	0.158+	49.258	49.258	0 „
Rozprężenie .	30.23	3039	2903	50,6	0.508+	50.176	50.008	0.168 „
Dośw. sprawdz.				1,1	1.063—	50.017	50.057	0.040 „
Przec. z dośw. z rozprężeniem	30.13	2859	2723		0.105+			0.1865 straty
Przec. z dośw. sprawdzających					0.085+			0.0117 straty
Wynik popraw.	30.13	2859	2723					0.1738 straty

Wytworzone zimno rozdzieliło się między 21.17 funtami wody, 14 funtami miedzi, 8 funtami ołowiu i 7 funtami cynowanego żelaza. Stąd znajdujemy, że ilość zimna, wytworzonego w doświadczeniu, wystarcza, aby spowodować obniżenie się temperatury funta wody o 4^o,085. Jednocześnie wy-

wiązała się siła mechaniczna, która mogła podnieść słup atmosfery o podstawie cała kwadratowego na wysokość 2723 cali; albo, innymi słowy, która mogła podnieść 3352 funty na wysokość jednej stopy. Każdy przeto stopień straconego ciepła wytwarza siłę, wystarczającą na podniesienie 820 funtów na wysokość jednej stopy.

Te wyniki nie dadzą się objaśnić, jeżeli ciepło jest substancją. Gdyby tak było, ta sama ilość ciepła byłaby pochłonięta przez rozrzedzanie, które zachodziło w doświadczeniach tablicy IV, jak ta, która się wywiązała przy odpowiednim zgęszczeniu w doświadczeniach tablicy I; również pewna ilość zimna byłaby wytworzona w doświadczeniach, podanych w tablicy III. Wyniki te są jednak takimi, jakie mogą być wyprowadzone a priori z teoryi jakiegokolwiek, w której ciepło jest uważane, jako stan ruchu między cząsteczkami, tworzącemi ciało. Łatwo zrozumieć, w jaki sposób siła mechaniczna, zużyta na zgęszczenie powietrza, może być udzielona tym cząsteczkom tak, żeby powiększyć prędkość ich ruchu, co może spowodować zjawisko podniesienia się temperatury. W doświadczeniu tablicy III zimno nie było wytworzone, ponieważ pęd tych cząsteczek nie przechodzi na stałe w siłę mechaniczną, ale gdyby ruch powietrza z jednego naczynia do drugiego doznawał oporu w ten sposób, iżby wytwarzał siłę na zewnątrz naczynia, co mogłoby być uskutecznione przy pomocy walca i tłoka, wtedy otrzymalibyśmy stratę ciepła, tak, jak w tablicy IV...., gdzie siła była użyta do podźwignięcia atmosfery ziemskiej.

Jest rzeczą zupełnie oczywistą, że przyczyna dla której ilość zimna w doświadczeniach tablicy IV była o tyle mniejsza od ilości ciepła, otrzymanego w doświadczeniach tablicy I, polega na tem, że cała siła powietrza poza tem, że była użyta na podniesienie atmosfery, była wydatkowana na przewyciężenie oporu kрана, i że tam znowu zamieniała się napowrót w swój równoważnik ciepłny.

Odkrycie Dulong'a^{*)}, że równe objętości wszystkich płynów sprężystych, wziętych przy tej samej temperaturze i pod tem samym ciśnieniem, wywiązują lub pochłaniają tę samą bezwzględną ilość ciepła, gdy są nagle zgęszczone lub rozprężone o ten sam ułamek swej objętości, zgadza się doskonale z temi zasadami.

Mechaniczne równoważniki ciepła, wyznaczone w rozmaitych seryach doświadczeń, podanych w tej pracy, są równe 823, 795, 820, 814 i 760. Przeciętna z trzech ostatnich, które uważam za najmniej podległe błędowi, wynosi 798 funtów⁷⁾; wynik tak blizki 838 funtom, równoważnikowi, który wyprowadziłem z moich magnetycznych doświadczeń, że potwierdza w godny uwagi sposób wyżej przytoczone objaśnienie zjawisk, opisanych w tej pracy i że dostarcza nowego, według mnie, potężnego argumentu na korzyść dynamicznej teorii ciepła, która, stworzona przez Bacon'a, Newton'a i Boyle'a, została następnie tak dobrze poparta przez doświadczenia Rumford'a, Davy'ego i Forbes'a.

UWAGI.

¹⁾ (Str. 235) Jak to już wyżej było zaznaczone, Joule tej obietnicy dotrzymał.

²⁾ (Str. 236) Dalton John (ur. 1766, um. 1844 r.), twórca teorii atomistycznej; badania jego nad własnościami gazów i par doprowadziły go do stwierdzenia faktu, znanego obecnie pod nazwą prawa Dalton'a, że ciśnienie mieszaniny gazów równa się sumie ciśnień oddzielnych składników.

³⁾ (Str. 236) Stosując wzór Poisson'a dla zgęszczeń adiabatycznych (patrz A. Witkowski. Zasady fizyki. Tom 2. str. 66)

^{*)} Ananles de Chimie. Tom XLI str. 156.

i przyjmując, że stosunek $\frac{c_p}{c_v} = k$ dla powietrza równa się 1,405, otrzymamy, zakładając początkową temperaturę równą 0°C, dla zgęszczenia do połowy początkowej objętości podniesienie temperatury o 88,5°, dla odpowiedniego rozrzedzenia obniżenie temperatury o 67,8°.

4) (Str. 236) Chodzi tu, rzecz prosta, o pojemność cieplną.

5) (Str. 239) Funt angielski, *avoir du pois*, którym najczęściej posługuje się Joule, równa się 453,59 gr. Uncya jest szesnastą częścią tego funta.

6) (Str. 240) Cal angielski równa się 2,54 cm.

7) (Str. 241 i 247) Zamieniając stopofunty na kilogramometry, ilość ciepła, potrzebną do ogrzania 1 funta wody o 1° F, na kalorye, otrzymamy 437,8 jako mechaniczny równoważnik ciepła. Przeciętna wszystkich doświadczeń Joule'a waha się około 425. Wzór, użyty przez Joule'a na str. 241 opiera się na następującem rozumowaniu. Praca elementarna, zużyta przy zmniejszeniu objętości o dv , będzie równa $p dv$. Praca zaś całkowita, zużyta dla zmniejszenia objętości od v_0 do v , będzie równa

$$\int_v^{v_0} p dv \quad (1)$$

Do gazu badanego możemy jednak stosować prawo Boyle'a Mariotte'a, gdyż temperatura gazu podczas zgęszczenia ulega bardzo niewielkiej zmianie i cały proces możemy uważać za izotermiczny. Wtedy ze wzoru

$$pv = p_0 v_0,$$

gdzie p_0 , v_0 oznaczają odpowiednio ciśnienie i objętość początkową, mamy

$$p = \frac{p_0 v_0}{v}$$

Podstawiając tę wartość p we wzór (1) i oznaczając przez T pracę wykonaną, mamy z uwagi na to, że $p_0 v_0$ jest wielkością stałą

$$T = p_0 v_0 \int_v^{v_0} \frac{dv}{v}$$

Stąd

$$T = p_0 v_0 \log \text{nat} \frac{v_0}{v}$$

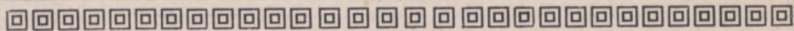
Według danych Joule'a $p_o = \frac{168,5}{11,376}$ funt./cal.² (t. j. ciśnienie jednej atmosfery; $v_o = 21,654$ stóp \times 11,376 c. kw.; dalej $v_o = 21,654 v$. Stąd mamy

$$T = \frac{168,5}{11,376} \times 21,654 \times 11,376 \times \log_{nat} 21,654$$

Wykonywując odpowiednie skrócenia i przechodząc do logarytmów dziesiętnych, mamy

$$T = 168,5 \times 21,654 \times 2,302585 \times \log_{10} 21,654.$$

(Elementarne wyprowadzenie wzoru na pracę w przemianie izotermicznej znaleźć można w książce: A. Witkowski. Zasady fizyki. Tom I. Wydanie trzecie, str. 405—407).



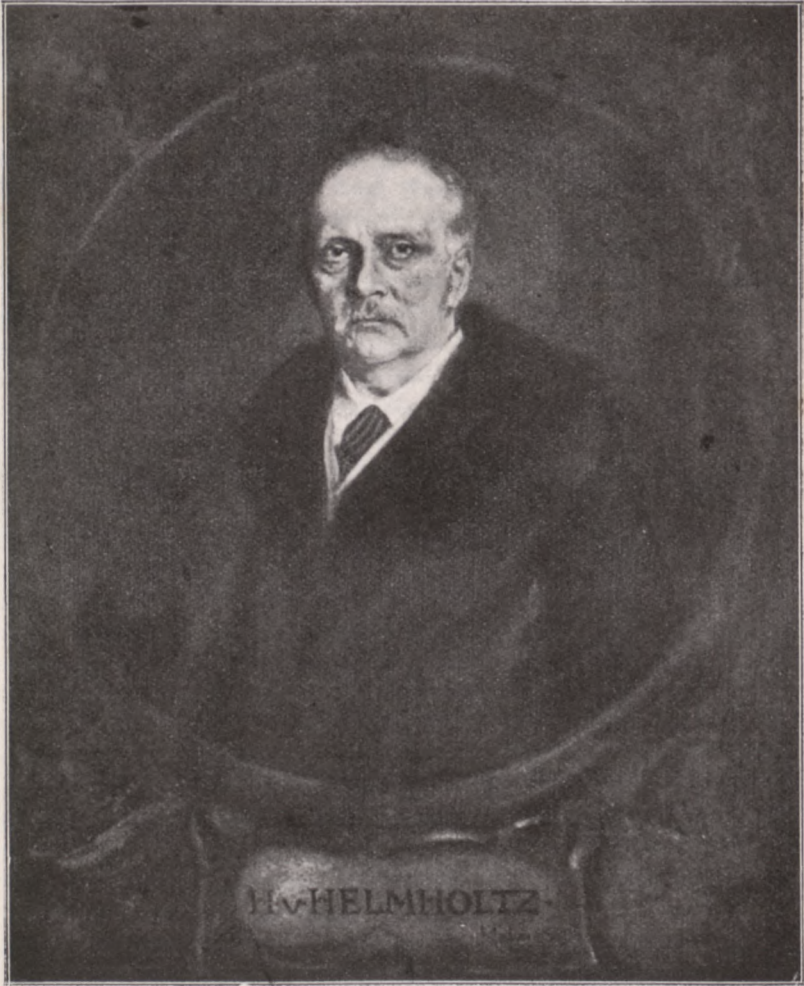
Hermann von Helmholtz.

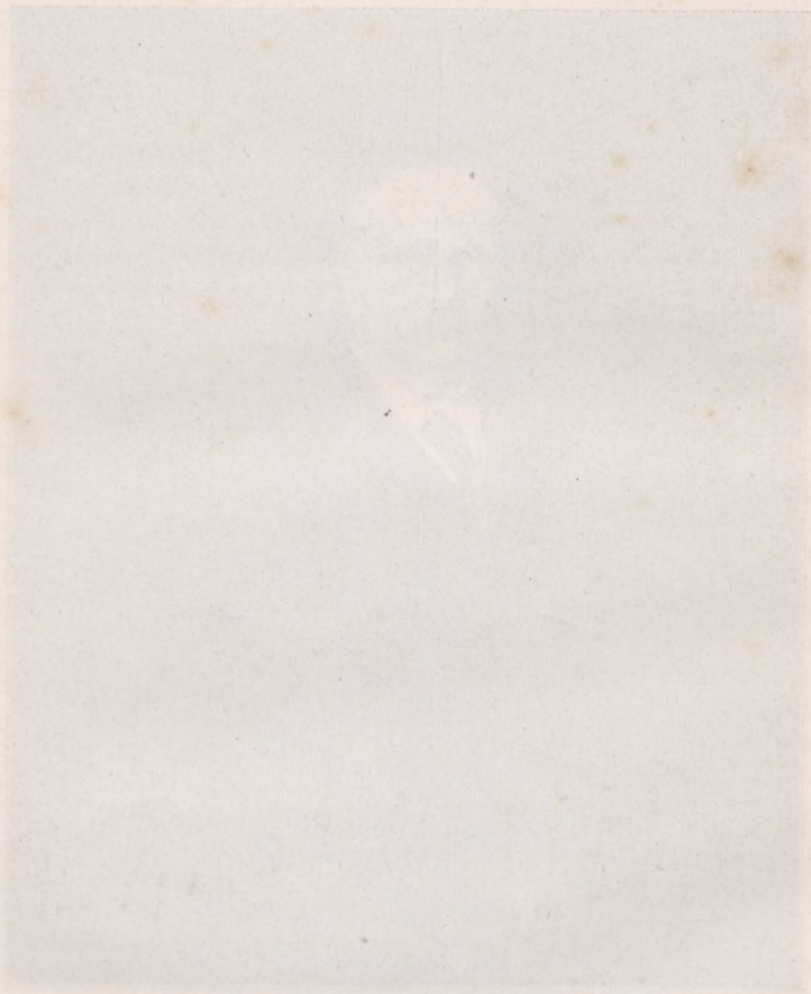
(1821—1894).

W roku 1847 ukazała się pod niżej podanym tytułem praca Helmholtz'a, która, wychodząc pozornie z innych założeń, niż badania Mayer'a i Joule'a, doprowadzała do tego samego wniosku, mianowicie do zasady zachowania energii. Helmholtz nie poprzestał na stwierdzeniu równoważności pracy mechanicznej i ciepła; dla niego był to poszczególny wypadek, który można wyprowadzić z zasad znacznie ogólniejszych. Dwie są, według Helmholtza, ogólne zasady, obowiązujące we wszystkich dziedzinach fizyki: pierwsza jest stwierdzeniem faktu, wyływającego wprost z zasady przyczynowości, — że wszystkie zjawiska przyrody są wywołane przez siły środkowe to zn. siły, działające między dwoma punktami materialnymi w kierunku prostej, łączącej środki tych punktów, o natężeniu zależnym jedynie od odległości między tymi punktami, przyczem działanie i przeciwdziałanie są sobie wzajemnie równe; drugą — niemożliwość perpetuum mobile.

Jeżeli bowiem założymy, że siłami wewnętrznymi jakiegoś układu materialnego są siły środkowe, to z twierdzenia sił żywych możemy łatwo wyprowadzić zasadę zachowania energii układu odosobnionego, w wypadku zaś układu, poddanego siłom zewnętrznym, zasadę, że przyrost energii układu równa się pracy, wykonanej na układzie. Z zasady zaś niemożliwości perpetuum mobile w wypadku, gdy siły, działające w układzie, zależą jedynie od położenia swych punktów przyłożenia, nie zależą zaś od ich prędkości, wynika, że do takich sił zastosować można to samo rozumowanie, które zastosowaliśmy do sił środkowych, i, co zatem idzie, w takim układzie obowiązuje zasada zachowania energii.

Tym sposobem Helmholtz nawiązywał pracę swoją do badań mechaników 18-go wieku, wyprowadzając zasadę zachowania





energii z ogólnych zasad mechaniki. Założenia jednak, jakie był zmuszony w tym celu poczynić, nie były bynajmniej danymi doświadczenia. Doświadczenia bowiem nie dawały żadnego powodu do mniemania, że siły, działające w układzie punktów materialnych, są istotnie zawsze siłami środkowymi. Przeciwnie, istnieje wiele faktów, które z trudnością dadzą się nagiąć do objaśnienia ich działaniem sił tego rodzaju. Do takich faktów należy przedewszystkim olbrzymia dziedzina t. zw. procesów nieodwracalnych, które Helmholtz w późniejszej swej pracy „O zasadzie najmniejszego działania“ starał się sprowadzić do zjawisk czysto mechanicznych; potężna ta próba nie wypadła jednak, jak się zdaje, zupełnie szczęśliwie. To założenie Helmholtz'a jest przeto pewnym sądem o zjawiskach przyrody, sądem opartym na rozważaniu zasady przyczynowości. Pod tym więc względem odbiega ono jedynie formą od założeń poprzedników Helmholtz'a.

Zasada niemożliwości perpetuum mobile służyła, jak o tym wyżej była mowa, już Galileuszowi za punkt wyjścia w badaniach nad działaniem machin prostych. Stosował ją później z powodzeniem Stevin w sławnym swym wyprowadzeniu warunków równowagi na równi pochyłej; w wieku 19-ym stanowiła ona podstawę dowodzenia Sadi-Carnot'a. Mimo jednak tych świetnych wyników, jakie dało jej zastosowanie, nie można jej bynajmniej uważać za zasadę doświadczalną. Carnot mówi o niej, że niemożliwość perpetuum mobile wykazana została dla działań, czyisto mechanicznych; Huygens dopuszcza możliwość takiego ruchu pod wpływem działań niemechanicznych; Leibniz uważa ją za prosty wniosek z zasady przyczynowości. Na tym punkcie widzenia stanęła też Akademia francuzka, ogłaszając w 1775 r., że na przyszłość nie będzie więcej badała „żadnego rozwiązania zagadnień podwojenia sześciannu, podziału kąta na trzy części lub kwadratury koła, ani żadnej maszyny, ogłaszanej, jako ruch wieczny“. Ten jednak dekret nie przeszkodził bynajmniej, że w kilkanaście lat później zwolennicy teorii kontaktu byli poniekąd zmuszeni w stosie Volty widzieć tego rodzaju maszynę. Nigdzie więc nie można znaleźć śladu uważania tej zasady za wniosek z doświadczenia. Jest to zresztą a priori jasne, że zasada taka, będąc w treści swojej negatywną, nie może być doświadczalnie wykazaną. Jeżeli obecnie jest ona dla nas oczywistą, pochodzi to stąd, że jest ona uważana za wniosek z zasady zachowania energii.

Praca Helmholtz'a wywarła olbrzymi wpływ na współczesnych: jasność i logika wykładu, dowiedzenie, że we wszystkich znanych podówczas dziedzinach fizyki obowiązuje ta sama naczelną zasadą, w znacznej mierze spopularyzowały, że się tak wyrazimy, nowe pojęcia i dopomogły do ich ostatecznego ustalenia.

Helmholtz (Hermann, Ludwig, Ferdinand von Helmholtz) przyszedł na świat 31 sierpnia 1821 roku w Poczdamie. Jako dziecko był on naogół brzydki, słaby i chorowity. Pierwsze siedm lat swego życia przepędził w pokoju, rzadko kiedy wychodząc z domu; dość często nawet musiał dni całe w łóżku przeleżeć. W tych warunkach, tak odmiennych od warunków życia dzieci zdrowych, wpływ rodziców, atmosfera domu rodzinnego szczególnie ważne miały znaczenie. Pod tym jednak względem mógł on być śmiało zaliczonym do najszczęśliwszych dzieci. Ojciec jego August Helmholtz, podówczas nauczyciel gimnazjum w Poczdamie, należał w młodości do plejady młodych entuzjastów, których rewolucya francuska, wpływ poezyi Schiller'a i Goethe'go raz na zawsze natchnęły pięknym filozoficznym i politycznym idealizmem. Wojny napoleońskie, które Niemcom wykazały dobitnie ich bezsilność, w młodzieży tej wzbudziły żywe uczucia patriotyczne. Skupiona w Tugendbundach (związkach cnoty) młodzież ta szła w pierwszych szeregach armii sprzymierzonych walczyć za wolność Niemiec pod Lipskiem, Hanau, Paryżem. Po zdobyciu w 1814 r. przez sprzymierzeńców Paryża August Helmholtz wystąpił z wojska, dopełnił swych studyów filozoficznych i poświęcił się zawodowi nauczycielskiemu. Rzeczywistość jednak, z jaką się spotkała w zwycięskiej ojczyźnie po powrocie z wojny, nie odpowiadała nawet w najmniejszej mierze marzeniom młodych entuzjastów. W polityce zaczynał się coraz bardziej ujawniać złowrogi wpływ Świętego Przymierza, w nauczaniu ton nadawała ortodoksya protestancka, tłumiąca starannie wszelkie przejawy entuzjazmu i idealizmu, które przed upadkiem Napoleona, takim się] nawet w kołach urzędowych cieszyły uznaniem. Na tym tle nastąpił wkrótce ostry konflikt między młodym marzycielem a zwierzchnością szkolną. Ciężkie warunki materyalne zmusiły go do poddania się, trzeba było poniechać myśli o szerszej, bardziej owocnej działalności, z tym większym przeto zapałem zajął się on wychowaniem dzieci, a zwłaszcza najstarszego Hermanna, w którym od chwili jego urodzenia cała rodzina wielkie pokładała nadzieje. Matka Helmholtz'a Karolina, z domu Penn, pochodząca po

mieczu od sławnego angielskiego emigranta Williama Penn'a, po kądzieli zaś z hugonockiej rodziny Sauvage, była kobietą wyjątkowych zalet umysłu i serca.

Tego rodzaju atmosfera musiała z konieczności wyrzucić do-broczynny wpływ na młodego Helmholtz'a. Dzięki obcowaniu prawie ciągłemu z ojcem zżył się on od najmłodszych lat z naj-rozmaitszemi dziedzinami ducha ludzkiego i zapoznał się stosun-kowo bardzo wczesnie z wielkimi utworami poetów i filozofów.

Od wczesnej jednak młodości Helmholtz wykazywał zu-pełnie wyraźne skłonności i upodobania.

„Od bardzo wczesnego dzieciństwa, mówi o sobie Helmholtz w mowie wypowiedzianej w 70-letnią rocznicę swych urodzin *), namiętnie lubiłem czytać, co znacznie rozszerzało koło mych rozrywek; ale we wczesnem rów-nież dzieciństwie ujawnił się brak mego umysłu: słabo pamiętałem rzeczy, nie mające ze sobą związku. Przypom-inam sobie dokładnie, że trudno mi było odróżnić prawą rękę od lewej; również w szkole, gdy uczyłem się języ-ków, sprawiało mi większą, niż innym uczniom, trudność zapamiętanie form gramatycznych, nieprawidłowych i szcze-gólnych zwrotów.... Lecz, gdy byłem w posiadaniu skrom-nych środków mnemotechnicznych takich, jak miara i rym w poezyi, uczyłem się na pamięć i lepiej pamiętałem.

Pamiętałem z łatwością poezye wielkich mistrzów i o wiele gorzej wiersze, nieco wyszukane, autorów drugo-rzędnych.... W wyższych klasach gimnazyum mogłem wy-powiedzieć z pamięci kilka pieśni Odyssei, sporo od Ho-racego i wiele poezyi niemieckich.... Człowiek lubi robić to, co jest dla niego łatwem. Z tego powodu byłem prze-dewszystkiem wielkim wielbicielem poezyi. Tę skłonność podsycał we mnie mój ojciec....

*) Cytata w tekście wzięta jest z tłumaczenia francuskiego książki W. Ostwald'a „Les grands hommes“ traduit par le Dr. Marcel Dufour professeur agrégé à la Faculté de médecine de Nancy. Paris. Ernest Flammarion, str. 158 i nast. Dane biograficzne są poczerpnięte z książki Leo Koenigsberger'a „Hermann von Helmholtz“ Braunschweig-Vieweg und Sohn 1911.

W wyższych klasach gimnazjum uczył nas niemieckiego i czytał z nami Homera. Pod jego kierunkiem musieliśmy pisać ćwiczenia niemieckie prozą naprzemian z ćwiczeniami na metrykę—poezyę, jakieśmy mówili. Większość z nas pozostała, bez wątpienia, miernymi poetami; nauczyliśmy się jednak, według mnie, lepiej, niż zapomocą jakiegokolwiek innego ćwiczenia wyrażać w sposób niesłychanie urozmaicony to, co mieliśmy do powiedzenia....

Najdoskonalszym jednak z istniejących sposobów mnemotechnicznych jest znajomość praw zjawisk. Przekonałem się o tem przedewszystkiem w geometryi. Moje oczy dziecka zapoznały mnie intuicyjnie, dzięki zabawie w budownictwo z drzewa, ze stosunkami przedmiotów w przestrzeni. Bardzo dobrze wiedziałem, nie wiele się nad tym zastanawiając, w jaki sposób można zestawiać i dopasowywać ciała o postaci prawidłowej, gdy je obracałem w ten lub ów sposób. Gdy zaczynałem naukowo uczyć się geometryi, wszystkie fakty, których miałem się nauczyć, były mi, że tak powiem, blizkie i dobrze znane, ku wielkiemu zdziwieniu mych nauczycieli....

Jednej rzeczy tylko brak było geometryi; zajmowała się ona wyłącznie postaciami oderwanemi, ja zaś lubiłem rzeczywistość zupełną. Gdy byłem większy i silniejszy, przechadzałem się często z ojcem moim lub kolegami po pięknych okolicach Poczdamu i nauczyłem się kochać przyrodę. Pierwsze ułamki fizyki, których się nauczyłem w gimnazjum, zajmowały mnie o wiele więcej, niż nauka geometryi czystej i algebry. Przedmiot fizyki był bogaty i urozmaicony, zawierała ona całą pełnię i potęgę przyrody, która mogła być poddana pod władzę znanych praw. Istotnie, to co mnie przedewszystkiem pociągnęło, to opanowanie myśłą, dzięki logicznej postaci prawa, przyrody, która stała początkowo przed nami, jak obca. Wkrótce jednak dowiedziałem się również, że znajomość praw zjawisk przyrodniczych jest talizmanem, którego posiadacz staje się panem przyrody....

Rzuciłem się bardzo gorliwie i z dużą radością na wszystkie książki fizyczne, które znalazłem w bibliotece mego ojca: były to dzieła bardzo przestarzałe, gdzie żył jeszcze flogiston i gdzie galwanizm nie przekroczył jeszcze stosu Volty. Staralem się również z innymi kolegami powtarzać rozmaitego rodzaju doświadczenia, o jakich czytaliśmy. Nauczyliśmy się gruntownie poznawać działania kwasów na zapasach tkanin naszych matek; co do reszty, to cieszyliśmy się miernem powodzeniem. Najlepiej się udało fabrykowanie narzędzi optycznych zapomocą szkieł od okularów, których można było dostać w Poczdamie, i małej lupy botanicznej mego ojca. Ponieważ środki moje były ograniczone, zmuszony byłem bardzo wczesnie nauczyć się zmieniać plan doświadczeń, które miały być wykonane, dopóki nie znalazłem postaci możliwej do urzeczywistnienia. Muszę się przyznać, że często, gdy klasa czytała Cicerona i Wirgiljusza, którzy mnie do najwyższego stopnia nudzili, obliczałem pod ławką bieg promieni świetlnych w teleskopie i w ten sposób znalazłem kilka twierdzeń z optyki, które były mi później przydatne przy budowie oftalmoskopu“.

Temu zamiłowaniu do fizyki nie mógł jednak Helmholtz odrazu zadosyć uczynić; warunki materialne jego rodziny zmusiły go, po ukończeniu gimnazjum w Poczdamie, do wstąpienia na medycynę do królewskiego medyko-chirurgicznego Instytutu w Berlinie. Było to pierwsze jego rozstanie się z domem rodzicielskim. Nic też dziwnego, że opanował go smutek i tęsknota, łagodzona nieco odwiedzaniem co niedziela Poczdamu i częstymi listami rodziców, nie skąpiących mu rad i otuchy. Wkrótce jednak dzięki swej szczęśliwej naturze, pozwalającej mu łatwo przystosowywać się do zmienionych warunków, Helmholtz otrząsnął się z przygnębienia. Pierwszy rok pobytu w Instytucie upłynął mu na najrozmaitszych zajęciach: od zajęć anatomią przechodził do Homer'a i Byron'a, od nich do Biot'a i Kant'a. Grywał też dużo na fortepianie, gdyż, jak pisał w liście do rodziców, rzadko kiedy zadawał go sposób odtwarzania dzieł muzycznych przez kogoś innego. Najbardziej może ulubionem jego zajęciem było jednak studyowanie dzieł wielkich matematyków: d'Alembert'a, Lagrange'a, Laplace'a.

W następnych latach pochłoneńy go bardziej studia specjalne. Zaczął bowiem słuchać wykładów fizjologii sławnego uczonego Johannes'a Müller'a, jednego z pionierów eksperymentalnego badania zjawisk fizjologicznych. Dla umysłu Helmholtz'a, wrogiemu wszelkiej metafizyce i niejasnym hipotezom, przejętego krytycyzmem Kant'a, twierdzenia dawnej szkoły witalistycznej o istnieniu pewnej siły życiowej, koordynującej wszystkie zjawiska fizyczne i chemiczne, zachodzące w ciele, były czemś nielogicznym, nie dającym się naukowo uzasadnić.

Wykłady Müller'a, starającego się przyzwyczać swych słuchaczy do opierania się na faktach, jeszcze bardziej utrwaliły w Helmholtz'u i innych uczniach Müller'a, — du Bois-Raymond'zie, Virchow'ie, Brücke'm dążność do oparcia badań fizjologicznych na metodach fizyki i chemii oraz do zupełnego zerwania z witalizmem. Pod tym „względem Helmholtz znacznie dalej poszedł, niż jego nauczyciel, który jeszcze w 1833 r. uznawał możliwość istnienia jedynej siły życiowej „znającej wszystkie tajemnice sił fizyki i chemii, lecz znajdującej się z niemi w ciągłym starciu, jako przyczyny i najwyższej regulatorki wszystkich zjawisk“ *). Ta podstawa życia — siła życiowa — znikła ze śmiercią organizmu, nie zostawiając po sobie żadnych śladów. Takie postawienie kwestyi wydawało się Helmholtz'owi niedopuszczalnem.

To też po ukończeniu i przedstawieniu w 1842 roku rozprawy doktorskiej „De fabrica systematis nervosi Evertibratorum“ Helmholtz przedsiębierze cały szereg prac, mających na celu zastosowanie ulubionych przez niego nauk ścisłych do niezwykle złożonych zjawisk życiowych. Jako asystent szpitala Charité w Berlinie, ogłasza w 1843 roku pracę o istocie gnicia i fermentacji, gdzie w pozornej sprzeczności ze swym mechanistycznym sposobem ujmowania zjawisk, lecz w zgodzie ze swą zasadniczą dewizą „opierać wnioski naukowe na doświadczeniu“, wyjaśnia rolę, jaką w tym procesie odgrywają mikroorganizmy. Ta pierwsza samodzielna praca zachęciła go do dalszych badań, które przeprowadził już w Poczdamie, wróciwszy znów do domu rodzicielskiego, jako lekarz pułku gwardyi, konsystującego w Poczdamie. Z tych czasów zachowały się ciekawe opisy wrażenia, jakie na znajomych wywierał młody uczoney. Wrażenie to miało być niezatarte: wyraz spokoju

*) A. Dastre „La vie et la mort“. Paris. Ernest Flammarion. 1908 str. 18.

i uduchowienia, panujący na twarzy, plastyczny sposób mówienia, niezwykła zdolność obserwacyjna, która sprawiała, że przestając z nim, zawsze można było dowiedzieć się czegoś nowego, wyróżniały go z pomiędzy innych młodych ludzi. Do tego dołączały się się ogromne zalety towarzyskie: Helmholtz z zupełną łatwością przechodził od swych badań naukowych, od studyowania dzieła Jacobi'ego „Fundamenta nova functionum ellipticarum“ do występowania w teatrze amatorskim, brania udziału w zbiorowych wycieczkach i t. d.

Poglądy jego na istotę procesów życiowych ujawniły się początkowo w pracy, ogłoszonej w 1845 r. „O zużyciu materii przy działaniu mięśni“. Praca ta ustalała związek, zachodzący między działaniem mięśni i wywiązaniem wskutek tego ciepłem. Artykuł w encyklopedyi nauk medycznych, który się wkrótce potem ukazał, p. t. „Ciepło, z punktu widzenia fizyologicznego“ rozpatruje z ogólniejszego jeszcze punktu widzenia zjawiska ciepłne, zachodzące w organizmach zwierzęcych. Pojmowanie ciepła, jako ruchu, rozpatrywanie wszystkich „sił przyrody“, jako mogących wytwarzać w oznaczonym stosunku ciepło, jest zupełnie wyrażnie wypowiedziane w „sprawozdaniu z teoryi fizyologicznych zjawisk ciepłych za rok 1845“, które w 1847 r. ukazało się w świeżo założonym piśmie „Fortschritte der Physik“. Ostatecznym wreszcie etapem na tej drodze, ujęciem w potężną syntezę wszystkich zjawisk energetycznych była praca „o zachowaniu siły“, ogłoszona w 1847 roku. Wyjaśniliśmy już (str. 249) bliżej znaczenie tej pracy i związek jej genetyczny z innemi badaniami w tej dziedzinie. Sam Helmholtz, który, mówiąc nawiasem, nie docenił początkowo pracy Mayer'a i krzywdząco się o niej wyraził w sprawozdaniach towarzystwa fizycznego, dokładnie sobie zdawał sprawę ze znaczenia swej pracy. Inaczej jednak sądzili jego przyjaciele-fizyolodzy, ludzie mało naogół znający mechanikę, dla których praca Helmholtz'a była istotnem objawieniem. Du Bois-Reymond nazwał ją „dokumentem historycznym wielkiej na wszystkie czasy naukowej koncepcyi“. Ta przesadna nieco ocena, gwałtownie wywalczająca dla Helmholtz'a zaszczyt pierwszeństwa odkrycia i krzywdząca tym sposobem jego poprzedników, a zwłaszcza Mayer'a i Joule'a, wytworzyła niemną atmosferę drobnych intryg; kiedy bowiem znacznie później Dühring, broniąc Mayer'a, napadł, co prawda, bardzo gwałtownie na Helmholtz'a, przyjaciele jego dopuścili się niebywałego w dziejach uniwersyteckich czynu: pozbawili Dühring'a, autora

wielu cennych prac, między innymi pięknej „Historii mechaniki“, prywat-docentury, jaką zajmował w uniwersytecie berlińskim. Należy podkreślić, że sam Helmholtz nie brał w tem czynnego udziału; przeciwnie, krzywdę, którą początkowo w zapale młodzieńczym wyrządził Mayer'owi, starał się, o ile możności powetować: na zjeździe przyrodników w Innsbruku w 1868 r. Helmholtz w przemówieniu swem wyraźnie i niedwuznacznie podkreślił znaczenie prac Mayer'a. Wcześniej jeszcze w 1854 r. w publicznym odczytaniu „O zmiennych działaniach sił natury“ zaznaczył, że „pierwszym, który ujął i wyraził dokładnie omawiane prawo był lekarz niemiecki z Heilbronn J. R. Mayer“.

Wkrótce po wydaniu pracy „O zachowaniu siły“ uwolnił się Helmholtz od obowiązków lekarza wojskowego, które mu ciążyły. Po kilku miesiącach wykładów anatomii w berlińskiej Akademii sztuk, został mianowany w 1849 r. nadzwyczajnym profesorem fizjologii w uniwersytecie Królewieckim. Nowe obowiązki pedagogiczne, jakie wziął na siebie, nie na długo odciągnęły go od pracy naukowej. Słuchaczy miał niewielu: początkowo zapisało się siedmiu, uczęszczało jednak na wykłady od trzech do pięciu. Laboratorium, jakie zastał w Królewcu, nie było świetne, w dodatku kredyty były dość ograniczone. W pierwszym roku na potrzeby laboratorium zdołał uzyskać tylko 100 talarów.

To mu jednak nie przeszkodziło przystąpić wreszcie do urzędowania dawno żywionych zamiarów opracowania podstaw fizjologii zmysłów. Praca, którą już w 1850 r. przesłał na ręce Du Bois-Reymond'a do Berlina, o „prędkości rozchodzenia się podrażnień nerwowych“, posiadała istotnie olbrzymie znaczenie. Z pomiarów bowiem Helmholtz'a, ogłoszonych w tej pracy, wynikało, że prędkość rozchodzenia się podrażnień nerwowych, nie tylko nie jest nieskończenie wielka, jak to przypuszczano podówczas, lecz naogół jest mała, o wiele mniejsza od prędkości głosu. Tego rodzaju wyniki, mające głębokie znaczenie filozoficzne i utrwalające metody nauk ścisłych w badaniu najbardziej złożonych zjawisk przyrody, wywołały, rzecz prosta, ogromne wrażenie, lecz naogół były przyjęte z niedowierzaniem, które bardzo powoli ustępowało.

W tym samym roku udało się Helmholtz'owi dokonać wynalazku, mającego o wiele mniejsze znaczenie teoretyczne, lecz za to olbrzymią doniosłość praktyczną. Wynalazkiem tym był oftalmoskop, pozwalający, jak pisze Helmholtz do ojca, widzieć na dnie

oka, „naczynia krwionośne, skrzyżowanie żył i tętnic, wejście nerwu ocznego do oka i t. d.“.

Te pierwsze prace były jakby próbą sił młodego uczonego, który zwrócił się wkrótce do systematycznego badania wrażeń zmysłowych. Początkowo zajął się głównie fizjologią oka. Podczas pobytu w Królewcu powstały epokowe prace „o akomodacji oka“, o „barwach dopełniających“, o „istocie wrażeń zmysłowych u ludzi“ i t. d.

W 1853 r. Helmholtz wyjechał dla odpoczynku do Anglii, gdzie zapoznał się z wszystkimi prawie wybitnymi uczonymi. W liściach, które pisał z podróży do żony, zostały zachowane ciekawe uwagi Helmholtz'a o ludziach i stosunkach, z jakimi w Anglii się zapoznał.

„Udało mi się, pisze w jednym z listów, zobaczyć Faradaya, obecnie pierwszego fizyka Anglii i Europy.... Były to dla mnie chwile wielkie i przyjemne. Jest on prosty, uprzejmy i skromny, jak dziecko; takiego chwytającego za serce sposobu zachowania się nie widziałem nigdy u żadnego człowieka. Pozatem był on nadzwyczaj uprzedzający. Pokazywał mi wszystko, co było do widzenia. Było tego jednak nie wiele, gdyż, jak się zdaje, kilka starych kawałków drzewa, drutu i żelaza wystarcza mu do największych odkryć“.

Z późniejszym jednak swoim przyjacielem Williamem Thomsonem nie mógł się wówczas poznać. Znajomość ta nastąpiła znacznie później w 1855 r., kiedy Helmholtz jechał objąć katedrę anatomii w Bonn.

„Spodziewałem się, pisał później Helmholtz, że Thomson, jeden z najpierwszych fizyków matematycznych Europy, jest człowiekiem nieco starszym odemnie, byłem przeto nie mało zdziwiony, gdy na moje spotkanie wyszedł bardzo młodziutki człowiek, o jasnobłond włosach i o wyglądzie młodej panienki... Przewyższa on zresztą wszystkie naukowe wielkości, jakie osobiście poznałem, bystrością, jasnością i ruchliwością umysłu, tak że miejscami sam wobec niego wyglądałem na nieco tępego“.

W Bonn działalność naukowa Helmholtz'a nie uległa żadnej zmianie. Długo opracowywana pierwsza część „optyki fizyco-

logicznej" została tam przez niego ostatecznie wykończona i oddana do druku. Nie był to podręcznik w zwykłym znaczeniu tego wyrazu: sposób ujęcia przedmiotu, ugrupowanie materiału, a zwłaszcza cała masa nowych zupełnie faktów, oryginalnych doświadczeń, sumiennych pomiarów nadawały tej książce pierwszorzędne znaczenie. Druk następnych części posuwał się bardzo wolno tak, że całość, w której zostały uwzględnione późniejsze odkrycia Helmholtz'a, wyszła dopiero w 1866 roku. Na to opóźnienie wpłynęła jeszcze i ta okoliczność, że przedmiot badań Helmholtz'a coraz bardziej się rozszerzał: do badań optycznych dołączyły się wkrótce badania nad teorią dźwięku, do której Helmholtz przywiązywał wielką wagę ze względu na jej ścisły związek z muzyką.

„Ze wszystkich dziedzin, mówi on w cytowanej już przez nas mowie (patrz str. 252), w których pracowałem, najbardziej czułem się dyletantem w muzyce. Sztuka i nauka są pod wszystkimi zewnętrznymi względami, jak również co do metody pracy, bardzo różnemi od siebie dziedzinami; muszę jednak powiedzieć, że jestem przeświadczony o głębszem wewnętrznym powinowactwie nauki i sztuki. Sztuka również stara się nam głosić prawdy, prawdy psychologiczne, chociaż nie w postaci pojęć, lecz w zupełnie innej — zjawisk zmysłowych. Ostatecznie jednak w wykończonem zjawisku musi się również znaleźć ujęcie pojęciowe, i obadwa będą ostatecznie działały łącznie“.

Badania te szybko posuwały się naprzód: odkrycie tonów kombinacyjnych, stwierdzenie zasadności prawa Ohm'a, wyjaśnienie fizycznej istoty samogłosek, wszystkie te pierwszorzędne badania przypadają na czas jego pobytu w Bonn.

W 1858 roku otrzymał nominację na profesora fizjologii w Heidelbergu. Już na wyjeźdźnym wypowiedział w Bonn, ojczyźnie Beethovena, „najpotężniejszego z bohaterów sztuki tonów“, mistrzowski odczyt o „fizjologicznych przyczynach harmonii muzycznej“, w którym w sposób bardzo plastyczny wykazał różnicę między okiem i uchem. Oko nie odczuwa żadnej harmonii, pojmowanej w tym sensie, co harmonia dźwiękowa. Nie jest ono w stanie rozłożyć barwy złożonej na jej proste składniki, niema przeto muzyki oka.

„Zjawiska czysto zmysłowej harmonii są, bezwątpienia, najniższym stopniem muzycznego piękna. Dla wyższego duchowego piękna muzyki harmonia i dysharmonia są jedynie środkami, ale środkami zasadniczymi i potężnymi“.

Z biegiem czasu badania te coraz bardziej wkraczały w dziedzinę fizyki. Ogłoszona w 1858 r. „teorya drgań powietrza w rurach otwartych“ była jedną z najpoważniejszych prac fizyczno-matematycznych, jakie się podówczas ukazały. Wszystkie swoje badania z tej dziedziny ujął wreszcie Helmholtz w 1862 r. w jedną imponującą całość w dziele „nauka o wrażeniach dźwiękowych“; dzieło to posiada dla akustyki znaczenie epokowe.

W następnym roku Helmholtz po raz drugi pojechał do Anglii. Odwiedził, rzecz prosta, Faraday'a, lecz tym razem odwiedziny te przykre po sobie zostawiły wspomnienie; Faraday był, jak zawsze, uprzejmy, ale czuć było zanik tej świetnej inteligencji; starość i upadek sił bardzo mu się dawały we znaki. Za to pobyt u Thomson'a w Glasgow'ie zatarł te przykre wrażenia. Helmholtz spotkał się tam z bratem William'a James'em profesorem „of engineering“ (inżynierii) w Belfaście.

„Jest to bardzo otwarta głowa, pisał Helmholtz do żony, z bardzo dobrymi pomysłami, ale nie chce o niczem słyszeć i mówić, jak o „engineering“, i mówi o tem ciągle, o wszystkich porach dnia i nocy tak, że w jego obecności nie można o niczem innem rozmawiać. Komiczną jest rzeczą, jak każdy z tych braci ciągle coś drugiemu wyjaśnia, przyczem jeden drugiego nie słucha i mówi o zupełnie różnych przedmiotach. Ale „engineer“ jest upartszy i zazwyczaj swego dopnie.... Oglądałem masę nowych i bardzo pomysłowych przyrządów i doświadczeń W Thomson'a.... Tak jednak prędko on myśli, że trzeba dopiero przy pomocy całego szeregu pytań, na które trudno otrzymać od niego odpowiedź, wydobyć z niego potrzebne wskazówki co do budowy tych przyrządów.... Jak go rozumieją jego studenci, nie pojmują; zresztą w laboratorium pracowało bardzo gorliwie sporo studentów, i, jak się zdaje, rozumieli o co chodzi.... Przy doświadczeniach Thomson'a stracił życie mój nowy kapelus.

Thomson wprawił w szybki ruch obrotowy ciężką płytę metalową, obracającą się na ostrzu; dla pokazania mi, jak dzięki obrotowi staje się ona nieruchliwą, uderzył ją młotem; płyta jednak wzięła mu to za złe, gdyż odleciała w jednym kierunku, zaś podstawa żelazna w drugim. Podstawa ta porwała mój kapelusz i rozplątała go. Sama płyta szczęśliwie rozbiła tylko kilka szyb“.

Po powrocie z Anglii Helmholtz zajął się ostatecznym opracowaniem swych badań fizyologicznych. Chodziło mu o wyjaśnienie, w jaki sposób nasze wrażenia zmysłowe odpowiadają otaczającej nas rzeczywistości, w jaki sposób budowa naszych organów zmysłów odbija się na ujmowaniu przez nas zjawisk świata zewnętrznego.

To zagadnienie oddawna zajmowało Helmholtz'a. Każdy bowiem badacz przyrody powinien, według niego, zdawać sobie sprawę nie tylko z tego, jak działa jego galwanometr lub luneta i jaką dokładność dają mu one przy pomiarach, lecz także jakie są granice myśli ludzkiej i jak ta myśl pracuje. Wstęp do „zachowania siły“ i późniejsze jego rozważania zasady przyczynowości były jakby pierwszym szkicem do teorii poznania, jaką w owym czasie Helmholtz rozwinął w dwu kapitalnych pracach „o danych spostrzegania“ i „o faktach, stanowiących podstawę geometrii“. Helmholtz przeczy twierdzeniu Johannes'a Müller'a, jakoby nasz przestrzenny sposób ujmowania zjawisk był czemś wrodzonym; przeciwnie, nasze wrażenia zmysłowe są jedynie znakami rzeczy i zjawisk zewnętrznych, uczymy się je pojmować przez doświadczenie i ćwiczenie. Zaczynamy rozumieć znaczenie znaków, gdy porównujemy je ze skutkami naszych ruchów i zmian, przez nas w świecie zewnętrznym wywołanych. Z tego punktu widzenia prawo przyczynowości, jak to już dawniej twierdził Helmholtz, jest jedynie hipotezą. Stanowisko jednak tej hipotezy względem innych hipotez jest wyjątkowe, jest ona bowiem podstawą, na której się opiera możność stosowania innych hipotez. Wbrew więc Kantowi Helmholtz nie uważa prawa przyczynowości za twierdzenie aprioryczne. Ten brak cech transcendentalnych Helmholtz rozciąga nie tylko na pojęcie przyczynowości, czasu i trójwymiarowości przestrzeni, lecz także na zasadnicze pewniki matematyki. Dla Helmholtz'a „pewniki geometrii... są, w istocie rzeczy, twierdzeniami, sprawdzonymi przez obserwacje“. Zwraca on uwagę, że możemy

sobie wyraźnie wystawić tylko takie stosunki przestrzenne, które można wyobrazić sobie w istotnej przestrzeni; przestrzeni przeto o ilości wymiarów, większej od trzech, wystawić sobie nie możemy, gdyż wszystkie sposoby spostrzegania przy pomocy naszych zmysłów są ograniczone do trzech wymiarów przestrzeni.

Te dwie wyżej wspomniane prace, które wywarły wielki wpływ na „filozofię przyrody“, rozpoczęły nowy okres w życiu Helmholtz'a, okres badań czysto fizycznych.

Już poprzednio w związku z pracami fizyologicznymi Helmholtz od czasu do czasu zajmował się opracowaniem pewnych zjawisk czysto fizycznych. Jeszcze będąc profesorem w Królewcu ogłosił on ciekawą rozprawę „o prądach elektrycznych w przewodnikach nieliniowych“, w której, jeden z pierwszych, zastosował pojęcie potencjału, wprowadzone do nauki przez Gauss'a. Następnie w 1857 r. nikała się bardzo ważna praca Helmholtz'a „o całkach równań hydrodynamicznych, odpowiadających ruchom wirowym“. Były to jednak prace dorywcze, w tym zaś okresie jego życia działalność jego staje się głębszą i rozleglejszą.

Początkowo zajmuje się on zagadnieniami, będącemi w ścisłym związku z poprzednio ogłoszonymi pracami z hydrodynamiki i elektryczności. Jeszcze w Heidelbergu ogłosił pracę „o nieciągłych ruchach cieczy“. Wyniki, jakie otrzymał, pozwoliły mu dojść do ważnych uogólnień, dotyczących elektryczności i teorii funkcji potencjalnej.

W Berlinie, dokąd został w 1871 r. przeniesiony na katedrę fizyki, przeprowadza badania „nad prędkością rozchodzenia się działań elektrodynamicznych“, mające bardzo ważne dla elektrodynamiki znaczenie. Za temi badaniami wkrótce następują inne, rozwijające teorię potencjału, wyprowadzające nowy wzór na działania elektrodynamiczne i rozpatrujące niestykanie ważny wniosek z hipotezy Faraday'a: istnienie prądów w przewodnikach otwartych. Badania te coraz bardziej przekonywały go o konieczności odrzucenia w zastosowaniu do zjawisk elektrycznych teorii działania na odległość i do przyjęcia teorii Faraday'a. Doświadczalne sprawdzenie słuszności tego zagadnienia widział on w dokładnem zbadaniu zjawisk, zachodzących w prądach otwartych o bardzo wielkiej częstotliwości. Tą myślą powodowany podał on w 1878 r. swoim słuchaczom, jako temat do pracy, zbadanie wielkości ekstraprądów. Temat ten podjął i opracował ulubiony uczeń Helmholtz'a młody Henryk Hertz.

Hertz'owi też powierza Helmholtz dalsze badania zjawisk elektrodynamicznych, sam zaś przystępuje do urzeczywistnienia ideału swego życia — ujęcia w syntezę mechaniczną zjawisk termodynamicznych. Zadanie było istotnie niełatwe; o ile bowiem pierwsza zasada termodynamiki daje się w dość prosty stosunkowo sposób sprowadzić do zasadniczych podstaw mechaniki, o tyle druga zasada, w tem ujęciu matematycznym, jakie jej nadał Clausius, przedstawia, jakeśmy już wyżej o tym wspominali (patrz str. 250), trudności wprost nie do przewyciężenia. To też praca nad tem zagadnieniem pochłania prawie całkowicie ostatnie lata życia Helmholtz'a. Pierwsza praca, kładąca podwaliny pod ten nowy sposób ujmowania zjawisk termodynamicznych, pojawiła się w 1884 r. pod tyt. „statyka układów monocyklicznych“, druga, dająca już całkowicie opracowaną teorię, wyszła w parę lat później p. t. „zasada najmniejszego działania“.

Genialna synteza, podana w tych pracach przez Helmholtz'a, nie da się jednak zastosować, jak to wykazały późniejsze badania, do wszystkich procesów natury, nie obejmuje ona bowiem t. zw. procesów nieodwracalnych.

W tym właśnie czasie, gdy powstawały te epokowe prace, które legły następnie u podstawy nowej mechaniki, opracowanej przez Hertz'a, umysł Helmholtz'a znajdował się w całej pełni rozwoju. Zdawało się, że ten przeszło sześćdziesięcioletni człowiek przeżywa drugą swą młodość; badania jego ogarniają wszystkie prawie dziedziny fizyki: bada on ruch ciał w płynach, wiry powietrzne i burze, kładzie podwaliny pod teorię dyspersyi anomalnej, pomaga Wiedemann'owi w redagowaniu *Annalen der Physik* i t. d. Szczególną jednak uwagę zwraca na badania Hertz'a; wiadomości o pomyślnych wynikach jego doświadczeń przejmują go żywą radością; wreszcie, gdy Hertz zawiadamia go, że udało mu się otrzymać fale elektromagnetyczne stojące, przesyła mu serdeczne powinszowanie i w liście do Du Bois-Reymond'a pisze, że „praca Hertz'a jest zupełnie genialna“.

Zdrowie jednak coraz bardziej przestawało mu dopisywać. Bóle głowy, którym częściej zaczął podlegać, zmuszały go do coraz częstszego przerywania badań. Ciągła wytężona praca, rzecz prosta, nie wpływała na polepszenie tego stanu. W 1888 r. został Helmholtz mianowany przewodniczącym w świeżo założonym dzięki hojności Werner'a Siemens'a instytucie fizyczno-technicznej. Tym sposobem został on zwolniony od obowiązku wykładania i egza-

minowania, co go zawsze najbardziej męczyło. Mimo to jednak stan jego zdrowia ciągle dużo pozostawiał do życzenia. Nie przeszkadzało to bynajmniej Helmholtz'owi w dalszym ciągu prowadzić swoich badań. W końcu 1892 r. ogłasza on pracę wielkiej wagi: „o elektromagnetycznej teorii dyspersji barw“, w 1893 r. „wnioski z teorii Maxwell'a co do ruchu w czystym eterze“. Tę gorączkową pracę, której Helmholtz, przewidując rychły upadek sił, całkowicie się oddał, przerwała na czas pewien podróż do Ameryki, dokąd Helmholtz pojechał, jako przedstawiciel Niemiec na międzynarodowej wystawie w Chicago. W powrotnej drodze, wychodząc z kajuty, upadł ze schodów, zranił się w głowę i stracił bardzo dużo krwi. Wypadek ten podkopał jego siły. Do tego dołączyły się ciężkie przejścia osobiste, między innymi przedwczesna śmierć Hertz'a, którą Helmholtz boleśnie odczuł.

„Dla wszystkich, pisał Helmholtz, którzy przywykli upatrywać postęp ludzkości w możliwie szerokim rozwoju jej duchowych zdolności i w panowaniu ducha nad przyrodzonymi namiętnościami, jak również nad opornymi siłami przyrody, wiadomość o śmierci tego uprzywilejowanego ulubieńca geniusza była głęboko wstrząsającą... W starych klasycznych czasach powiedziano by, że został on ofiarą zawiści bogów“.

Siły Helmholtz'a słabły coraz bardziej. Nikt jednak nie oczekiwał tak rychłego końca. Jeszcze 14. czerwca 1894 r. Helmholtz złożył Akademii Berlińskiej pracę „o zasadzie najmniejszego działania w elektrodynamice“. 8 września po krótkiej chorobie już nie żył.

Życie tego wyjątkowego geniusza daje rzadki przykład zadziwiającej harmonii wewnętrznej, pełni i radości życia. Ma się wrażenie, przeglądając jego prace, gdzie nic nie jest zostawione przypadkowi, gdzie jedno badanie wypływa logicznie z drugiego, że odkrywał on tajemnice natury z zupełną łatwością bez żadnego wysiłku. Tak jednak nie było: w jednej ze swych prac Helmholtz porównywa się z wędrowcem, który dąży na szczyt górski uciążliwymi i krętymi drożynami i na szczycie dopiero spostrzega, że obok była wygodna droga, której nie zauważył. Często też, mówi on, rozwiązanie zagadnienia kazało długo na siebie czekać. Często zjawiało się zupełnie nagle, na przechadzkach lub po dłuż-

szym odpoczynku umysłowym. Zawsze zjawiało się po uprzedniej długiej i ciężkiej pracy umysłowej.

„Samą jednak pracą nie można, mówi Helmholtz w prześlicznym przemówieniu na cześć Heidelberga, wydobyć tych myśli, przynoszących światło. Wyskakują one, jak Minerwa z głowy Jowisza, niespodziewanie, nieoczekiwanie; nie wiemy, skąd one pochodzą. To jedno jest pewne: temu, kto życie poznawał z książek i z papieru, i temu, kto jest zmęczony i zniechęcony jednostajną pracą, temu się one nie zjawiają. Musi on mieć poczucie pełni życia i siły, a to dają przede wszystkim wędrówki w czystym powietrzu wyżyn. I gdy cichy spokój lasu odsuwa od wędrowca rozgwar świata, gdy jednym spojrzeniem ogarnia on bogate i bujne równiny z ich polami i wsiami, i gdy zachodzące słońce tka złote nici na dalekich górach, wtedy poruszają się... w ciemnych głębiach jego duszy zarodki nowych myśli, które mogą wnieść światło i ład do wewnętrznego świata wyobrażeń, gdzie przedtem był chaos i mrok“.

Takim wędrowcem, czerpiącym swe natchnienia z bujnego życia przyrody, był geniusz Helmholtz'a.

O zachowaniu siły *).

(Rozprawa fizyczna, wygłoszona na posiedzeniu towarzystwa fizycznego w Berlinie dnia 23 lipca 1847 r.)

Rozprawa niniejsza ze względu na zasadniczą treść swoją musiała być przeznaczona głównie dla fizyków, dlatego też wolałem przedstawić jej zasady jedynie w postaci fizycznych założeń, niezależnie od filozoficznego uzasadnienia, rozwinąć wynikające z nich wnioski i porównać je w różnych gałęziach fizyki z prawami zjawisk natury, sprawdzonemi na drodze doświadczalnej. Wywód postawionych twierdzeń może być przedsięwzięty na podstawie dwojakiego rodzaju założeń: albo na podstawie twierdzenia, że jest rzeczą niemożliwą wytwarzać nieograniczenie zdolność do pracy zapomocą wzajemnego oddziaływania jakiegokolwiek układu ciał przyrody, lub też — zakładając, że wszystkie działania w przyrodzie dadzą się sprowadzić do sił przyciągających i odpychających, których natężenie zależy jedynie od odległości punktów, działających na siebie. Na początku samej rozprawy wykazałem, że obadwa te twierdzenia są identyczne.

Mają one pozatem jeszcze bardziej istotne znaczenie dla ostatecznego i właściwego celu nauk fizycznych wogóle,

*) „Ueber die Erhaltung der Kraft“ (eine physikalische Abhandlung, vorgetragen in der Sitzung der physikalischen Gesellschaft zu Berlin, am 23. Juli 1847 von Dr. H. Helmholtz). — Tłómaczone z przedruku w „Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften“.

co będę się starał przedstawić w tym oddzielnym wstępie. Zadaniem pomienionych nauk jest w pierwszym rzędzie szukanie praw, zapomocą których oddzielne zjawiska mogłyby być sprowadzone do ogólnych prawideł i z nich wyznaczone. Te prawidła, np. prawo załamania i odbicia światła, prawo Mariotte'a i Gay-Lussac'a, dotyczące objętości gazów, nie są, oczywiście, niczem innym, jak ogólnemi pojęciami gatunkowemi, które obejmują zespół należących tutaj zjawisk. Ich odnajdywanie jest przedmiotem doświadczalnej części naszej nauki. Część zaś teoretyczna stara się znów wykryć nieznanne przyczyny zjawisk z ich widzialnych działań; stara się je ująć stosownie do prawa przyczynowości¹⁾. Jesteśmy zmuszeni i uprawnieni do zajmowania się tem na zasadzie podstawowego założenia, że każda zmiana w przyrodzie musi mieć dostateczną przyczynę. Najbliższe przyczyny, które przypisujemy zjawiskom natury, same muszą być albo niezmienne albo zmienne; w ostatnim wypadku to samo podstawowe założenie zmusza nas do szukania na nowo przyczyn tej zmiany, i to dopóty, dopóki wreszcie nie dojdziemy do ostatecznych przyczyn, działających według niezmiennego prawa, które przeto w tych samych zewnętrznych warunkach wywierają zawsze to samo działanie. Ostatecznym więc celem teorii nauk przyrodniczych jest znalezienie ostatecznych niezmiennych przyczyn zjawisk przyrody. Czy zaś istotnie wszystkie zjawiska mogą być sprowadzone do takich przyczyn, czy więc natura musi być całkowicie dostępna naszemu pojmowaniu lub też czy zachodzą w niej takie zmiany, które się wymykają z pod prawa koniecznej przyczynowości, które przeto należą do dziedziny samorzutności, (spontaniczności), swobody, nie tu miejsce rozstrzygać; w każdym razie jest rzeczą jasną, że nauka, której celem jest zrozumienie natury, musi wychodzić z założenia możliwości jej ujęcia i, stosownie do tego założenia, wnioskować i badać, dopóki, być może, nie będzie zmuszona przez nieprzewyżnione fakty do uznania swych granic.

Nauka rozważa przedmioty świata zewnętrznego w dwójakim oderwaniu: naprzód tylko w ich istnieniu, bez zwr-

cania uwagi na ich działania na inne przedmioty lub na nasze organy zmysłów; jako takie nazywa je materią.

Istnienie materii samej w sobie jest więc dla nas czemś obojętnem, pozbawionem działania; rozróżniamy w niej rozmieszczenie przestrzenne i ilość (masę), o której zakładamy, że jest wiecznie niezmienną. Jakościowych różnic nie możemy przypisać materii samej w sobie; gdyż, jeżeli mówimy o materiach różnego rodzaju, to wnioskujemy o ich różnorodności zawsze tylko na zasadzie różnorodności ich działań, t. zn. ich sił. Materia sama w sobie nie może wobec tego podlegać innym zmianom, jak tylko przestrzennym, t. zn. ruchowi. Przedmioty natury nie są jednak pozbawione działania, dochodzimy przecież głównie do ich poznania dzięki działaniom, które wywierają na nasze organy zmysłów, gdy z tych działań wnioskujemy o czynniku działającym. Jeżeli więc chcemy w rzeczywistości zastosować pojęcie materii, możemy to uczynić jedynie wtedy, gdy to pojęcie uzupełnimy drugim pojęciem oderwanem, którego poprzednio nie braliśmy pod uwagę, mianowicie możliwością wywierania działania, t. zn., gdy jej przypiszemy siły. Jest rzeczą jasną, że pojęcia materii i siły w zastosowaniu do natury nie powinny być nigdy oddzielane. Czysta materia byłaby dla pozostałej natury obojętna, gdyż nigdy nie mogłaby ona wywołać zmiany w naturze lub w naszych organach zmysłów; czysta siła byłaby czemś, co byśmy mieli nadzieję istnieć, z drugiej zaś strony nie istnieć, gdyż to, co istnieje, nazywamy materią. Również błędem jest chcieć uważać materię za coś rzeczywistego, siłę zaś tylko za pojęcie, któremu nic rzeczywistego nie odpowiada; obie są raczej oderwaniami rzeczywistości, utworzonymi w zupełnie jednakowy sposób; możemy przecież dostrzegać materię właśnie tylko dzięki jej siłom, nigdy zaś materii samej w sobie.

Wdzieliśmy wyżej, że zjawiska natury powinny być sprowadzane do niezmiennych ostatecznych przyczyn; to zaś żądanie wyraża się w ten sposób, że jako ostateczne przyczyny w czasie powinny być znalezione niezmiennie siły. Materie o niezmiennych siłach (niezniszczalne jakości) na-

zwaliśmy w nauce pierwiastkami (chemicznymi). Wyobraźmy sobie jednak cały wszechświat rozłożony na pierwiastki o niezmiennych jakościach, to jedynymi jeszcze możliwymi zmianami takiego układu są zmiany przestrzenne, t. zn. ruchy, i zewnętrzne okoliczności, dzięki którym ulega zmianie działanie sił, mogą być tylko przestrzennymi; siły więc mogą być tylko siłami ruchu, zależnymi w swem działaniu jedynie od stosunków przestrzennych.

Ścisłejsze więc określenie będzie takie: zjawiska natury powinny być sprowadzone do ruchów materji o niezmiennych siłach ruchu, zależnych jedynie od stosunków przestrzennych.

Ruch jest zmianą stosunków przestrzennych. Stosunki przestrzenne są możliwe jedynie względem ograniczonych części przestrzeni, a nie względem przestrzeni próżnej, pozbawionej różnic. Dlatego też w doświadczeniu ruch może się odbywać jedynie, jako zmiana wzajemnych stosunków przestrzennych przynajmniej dwu ciał materialnych; siła poruszająca, jako przyczyna ruchu, może być również uważana tylko dla wzajemnego stosunku przynajmniej dwu ciał; należy ją przeto określić, jako dążenie dwu mas do zmiany wzajemnego położenia. Siła jednak, którą wywierają na siebie dwie całkowite masy, musi być rozłożona na wzajemnie działające siły wszystkich ich części; dlatego też mechanika powraca do sił punktów materialnych, t. zn. punktów przestrzeni, wypełnionych materją²⁾. Punkty jednak, poza swą odległością, nie mają żadnego innego związku przestrzennego, gdyż kierunek łączącej je prostej może być wyznaczony tylko w stosunku do dwu przynajmniej innych punktów. Siła poruszająca, którą punkty wywierają na siebie wzajemnie, może być przeto li-tylko przyczyną zmiany ich odległości, t. zn.—przyciągająca lub odpychająca. To wynika również z zasady dostatecznej przyczyny. Siły, jakimi działają na siebie dwie masy, muszą być z konieczności oznaczone co do wielkości i kierunku, skoro jest całkowicie dane położenie mas. Dwa jednak punkty wyznaczają całkowicie tylko jeden kierunek, mianowicie kierunek łączącej je prostej; skutek

tego siły, które one wzajemnie wywierają, muszą mieć kierunek tej prostej, i natężenie ich może zależeć jedynie od odległości. Ostateczne więc zadanie nauk fizycznych wyraża się w ten sposób, że mają one sprowadzić zjawiska natury do niezmiennych przyciągających i odpychających sił, których natężenie zależy od odległości.

Możliwość rozwiązania tego zadania jest równocześnie warunkiem możliwości całkowitego ujęcia natury. Mechanika analityczna nie przyjęła dotychczas tego ograniczenia pojęcia siły poruszającej; przedewszystkiem dlatego, że nie zdawała ona sobie jasno sprawy z pochodzenia swych podstawowych założeń, następnie zaś, że chodzi jej o obliczenie skutku oddziaływania złożonych sił poruszających w tych przypadkach, gdzie jeszcze się nie udał rozkład ich na siły proste. Wielka jednak część jej ogólnych zasad ruchu złożonych układów mas obowiązuje tylko w tym wypadku, gdy masy te działają na siebie niezmiennymi przyciągającymi lub odpychającymi siłami, mianowicie: zasada prędkości przygotowanych, zasada zachowania ruchu środka ciężkości, zasada zachowania głównej płaszczyzny obrotu i momentu obrotu układu swobodnego, zasada zachowania siły żywej³). W stosunkach ziemskich z zasad tych tylko pierwsza i ostatnia znajdują głównie zastosowanie, gdyż inne dotyczą jedynie zupełnie swobodnych układów; pierwsza znów jest, jak to wykażemy, szczególnym wypadkiem ostatniej, która przeto wydaje się najogólniejszym i najważniejszym wnioskiem z wywodów, przez nas podanych.

I.

Zasada zachowania siły żywej.

Wychodzimy z założenia, że jest rzeczą niemożliwą stale wytwarzać z niczego siłę działającą przy jakimkolwiek układzie ciał natury. Z tego założenia już Carnot i Clapeyron*⁴) wyprowadzili teoretycznie szereg częściowo znanych, częściowo jeszcze nie wykazanych doświadczalnie praw, dotyczących się ciepła właściwego i utajonego różnych ciał natury. Celem niniejszej rozprawy jest przeprowadzenie zupełnie w ten sam sposób pomienionej zasady przez wszystkie gałęzie fizyki; w części, aby wykazać możliwość stosowania jej w tych wszystkich wypadkach, gdzie prawa zjawisk są już dostatecznie zbadane, w części, aby z jej pomocą na zasadzie wielostronnych analogii z faktami bardziej znanymi wyciągać dalsze wnioski co do zjawisk, dotychczas dostatecznie nie zbadanych, i tym sposobem dać nie przewodnią doświadczeniu.

Wspomniana zasada może być przedstawiona w sposób następujący: Wyobraźmy sobie układ ciał przyrody, które znajdują się między sobą w pewnych przestrzennych stosunkach i są wprawiane w ruch przez swe siły wzajemne, dopóki nie przejdą do innego oznaczonego położenia: możemy wtedy nabyte przez nie prędkości uważać za pewną pracę mechaniczną i zamienić je w nią. Jeżeli teraz chcemy sprawić, aby te siły były czynne po raz drugi, dla otrzymania tej samej pracy ponownie, musimy ciała znów doprowadzić jakimkolwiek sposobem do początkowych warunków przez zastosowanie innych sił, będących w naszym rozporządzeniu; na to więc zużyjemy znowu pewną wielkość pracy tych sił. Otóż, w tym wypadku nasza zasada wymaga, aby wielkość pracy otrzymanej, gdy ciała układu przechodzą z położenia początkowego do następnego, i zużytej, gdy z następnego przechodzą do początkowego, była stale taka sama, jakimkolwiek

*) Poggendorff's Annalen LIX, 446, 556.

byłby sposób, droga lub prędkość tego przejścia. Gdyby bowiem na jakiejś drodze była ona większa, niż na innej, to moglibyśmy użyć drogi pierwszej dla otrzymania pracy, drugiej do doprowadzenia do stanu pierwotnego; na to zaś moglibyśmy zużyć część tak otrzymanej pracy i tym sposobem wytwarzalibyśmy do nieskończoności siłę mechaniczną, zbudowalibyśmy perpetuum mobile, które nie tylko zachowywałoby swój własny ruch, lecz jeszcze byłoby w stanie oddawać siłę na zewnątrz.

Jeżeli będziemy szukali matematycznego wyrażenia tej zasady, to znajdziemy je w znanym prawie zachowania siły żywej. Wielkość pracy, otrzymanej i zużytej, może być, jak wiadomo, wyrażona, jako ciężar m , podniesiony na oznaczonej wysokości h ; jest ona wówczas mgh , gdzie g jest natężeniem siły ciężkości. Dla prostopadłego swobodnego wzniesienia się na wysokość h ciało m wymaga prędkości $v = \sqrt{2gh}$ i nabywa jej znów przy spadaniu. Jest więc $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$; wskutek tego połowa iloczynu mv^2 , który w mechanice nazywamy, jak wiadomo, „ilością siły żywej ciała m “, może być postawiona zamiast miary wielkości pracy. Dla lepszego uzgodnienia z używanym obecnie sposobem mierzenia natężenia sił proponuję również wielkość $\frac{1}{2}mv^2$ oznaczać, jako ilość siły żywej, dzięki czemu stanie się ona identyczną z miarą wielkości pracy. Dla dotychczasowego stosowania pojęcia siły żywej, które ogranicza się tylko do omawianej zasady, zmiana ta jest bez znaczenia, nam jednak w następnych naszych wywodach zmiana ta zapewnia istotne korzyści.

[Koniec rozdziału I-go i rozdział II-gi poświęcone są matematycznemu udowodnieniu „zasady zachowania siły“ w wypadku działania sił środkowych].

III.

Zastosowanie zasady w twierdzeniach mechanicznych.

Przechodzimy obecnie do poszczególnych zastosowań prawa stałości siły. Przedewszystkiem musimy w krótkości wspomnieć o tych wypadkach, w których zasada zachowania siły żywej była już dotychczas używana i uznawana.

1) Wszystkie ruchy, które się odbywają pod wpływem siły ciężenia powszechnego, a więc ruchy ciał niebieskich i ciężkich ciał ziemskich. Dla pierwszych ciał prawo znajduje swój wyraz w przyroście ich prędkości, gdy po swym torze zbliżają się do ciała środkowego, w niezmienności wielkiej osi ich toru, czasu obiegu i obrotu; dla drugich w znanem prawie, że prędkość końcowa spadku zależy jedynie od wysokości spadku, a nie od kierunku i postaci przebieżonej drogi, i że prędkość ta, o ile nie jest zniweczona przez tarcie lub uderzenie niesprężyste, dokładnie wystarcza, aby podnieść ciało, które upadło, na nowo na tę samą wysokość, z której spadło. Wspominałem już o tem, że wysokość spadku oznaczonego ciężaru jest używana, jako miara wielkości pracy naszych maszyn.

2) Przenoszenie ruchu przez nieściśliwe ciała stałe i płynne, gdy nie zachodzi ani tarcie, ani uderzenie ciał niesprężystych. Nasza zasada ogólna wyraża się w tym wypadku zazwyczaj, jako prawidło, że ruch przenoszony i przeistaczany przez potęgi mechaniczne stale zmniejsza się co do natężenia siły w takim stosunku, w jakim wzrasta co do prędkości. Wyobraźmy więc sobie ciężar m , podnoszony z prędkością c przez maszynę, w której jakimkolwiek sposobem jest wytwarzana równomierna siła pracy, to zapomocą innego mechanicznego urządzenia może być podniesiony ciężar nm , ale tylko z prędkością $\frac{c}{n}$, tak, że w obydwu wypadkach ilość wytworzonej przez maszynę w jednostce czasu siły napięcia⁵⁾ może być przedstawiona przez mgc , gdzie g oznacza natężenie siły ciężkości.

3) Ruchy ciał stałych i ciekłych doskonale sprężystych. Jako warunek doskonałej sprężystości, musimy do zazwyczaj stawianych warunków, żeby ciało, którego kształt lub objętość zmienimy, ponownie całkowicie przybierało ten sam kształt i objętość, dodać jeszcze jeden, żeby w jego wnętrzu nie było żadnego tarcia cząsteczek. Przy rozważaniu tych ruchów zasada nasza najwcześniej została poznana i najczęściej była stosowana. Jako o najzwyczaj-
szych wypadkach stosowania jej do ciał stałych należy wspomnieć o uderzeniu sprężystem, którego prawa łatwo można wyprowadzić z naszej zasady i z zasady zachowania środka ciężkości, i o różnorodnych drganiach sprężystych, które też trwają bez nowego bodźca, dopóki nie będą zniszczone przez tarcie wewnętrzne i przez przekazanie ruchu środowisku zewnętrznemu. W ciałach płynnych, zarówno ciekłych (oczywiście też sprężystych, lecz posiadających bardzo wysoki moduł sprężystości i o cząsteczkach w położeniu równowagi) jak również gazowych (o niższym module sprężystości i bez położenia równowagi) wszystkie naogół ruchy przy swem rozchodzeniu się występują pod postacią fal. Tutaj należą fale powierzchni ciecży, ruch dźwięku i prawdopodobnie ruch światła i ciepła promienistego ⁶⁾.

Siła żywa pojedynczej cząsteczki Δm w środowisku, przez które przebiega szereg fal, jest oczywiście wyznaczona przez prędkość, którą cząsteczka posiada w swem położeniu równowagi. Ogólne równanie falowe wyznacza, jak wiadomo, prędkość u w sposób następujący:

$$u = a \cdot \cos \left[\frac{2\pi}{\lambda} (x - ut) \right], ^{7)}$$

gdzie a^2 jest natężeniem, λ — długością fali, a — prędkością rozchodzenia się, x — odciętą, t — czasem. W położeniu przeto równowagi $u = a$, siła żywa cząsteczki Δm jest podczas ruchu falowego równa $\frac{1}{2} \Delta m \cdot a^2$, — proporcjonalna do natężenia. Jeżeli fale rozchodzą się kulisto ze środka, to wprawiają w ruch coraz to większe masy, natężenie przeto musi się zmniejszać, jeżeli siła żywa ma pozostać taką samą.

Otóż, stąd, że masy, ogarniane przez ruch falowy, powiększają się, jak kwadraty odległości, wynika znane prawo, że natężenia zmniejszają się w stosunku odwrotnym.

Prawa odbicia, załamania i polaryzacji światła na granicy dwu środowisk o różnej prędkości fal zostały już, jak wiadomo, wyprowadzone przez Fresnel'a z założenia, że ruch cząstek granicznych w obydwu środowiskach jest ten sam oraz z zasady zachowania siły żywej. Przy interferencji dwu szeregów fal nie zachodzi żadne zniszczenie siły żywej, lecz tylko inny jej rozkład. Dwa szeregi fal o natężeniu a^2 i b^2 , które nie interferują, udzielają wszystkim napotkanym punktom natężenia $a^2 + b^2$; jeżeli interferują, to mają maxima $(a+b)^2$ o $2ab$ większe, minima $(a-b)^2$ o tyleż mniejsze, niż $a^2 + b^2$. Siła żywa fal sprężystych jest zniweczona dopiero przy takich procesach, które nazywamy ich absorbcją. Absorbując fal głosowych otrzymujemy głównie przez uderzenie ich o poddające się ciała niesprężyste np. zasłony, kołdry, musimy więc ją uważać głównie za przejście ruchu do napotykaných ciał i zniweczenie go w nich przez tarcie; czy ruch może być też zniweczony przez wzajemne tarcie cząsteczek powietrza, tego jeszcze nie możnaby rozstrzygnąć. Pochłanianiu promieni cieplnych towarzyszy proporcjonalne wywiązywanie się ciepła; o ile to ostatnie odpowiada pewnemu równoważnikowi siłowemu, będziemy mówili w najbliższym rozdziale. Zachowanie siły powinno zachodzić, jeżeli tyleż ciepła, ile znika w ciele promieniującym, na nowo się pojawia w opromieniowanym, w założeniu, że nie zachodzi żadne odprowadzanie go i że żadna część promieniowania nie dochodzi gdzieindziej. Twierdzenie to jest dotychczas przyjmowane z góry przy badaniach nad promieniowaniem cieplnym, nie są mi jednak znane żadne badania przeprowadzane dla jego uzasadnienia. Przy pochłanianiu promieni świetlnych przez niezupełnie lub całkowicie nieprzezroczyste ciała znamy trojakiemu rodzaju zjawiska. Przede wszystkim ciała fosforyzujące pobierają światło w ten sposób, że następnie mogą je znowu wysyłać, jako światło⁸⁾. Po drugie, większość, a być może wszystkie promienie świetlne

wzbudzają, jak się zdaje, ciepło. Uznawanie tożsamości promieni widma cieplnych, świetlnych i chemicznych w nowszych czasach coraz mniej napotyka przeszkód*), zdaje się tylko, że równoważnik cieplny promieni chemicznych i świetlnych jest niesłychanie mały w porównaniu z ich intensywnym działaniem na oko. Jeżeliby jednak jednorodność różnych działających promieniowań nie została potwierdzona, musielibyśmy uznać kres ruchu światła za nieznaną. Po trzecie, w wielu wypadkach światło pochłaniane wzbudza działanie chemiczne. Musimy tutaj pod względem stosunku sił różnić dwa rodzaje takiego działania; po pierwsze takie, gdzie światło pobudza jedynie do działalności powinowactwa chemicznego, podobnie do ciał, działających katalitycznie; po drugie, takie, gdzie światło działa przeciwko powinowactwu chemicznemu, np. przy rozkładzie soli srebra, przy działaniu na zielone części roślin. W większości jednak tych zjawisk skutki działania światła są jeszcze tak mało znane, że nic nie możemy sądzić o wielkości sił, biorących w tem udział; zdaje się, że tylko przy działaniu na zielone części roślin są one znaczne co do ilości i natężenia.

IV.

Równoważnik siłowy⁹⁾ ciepła.

Tymi procesami chemicznymi, w których przypuszczano dotychczas bezwzględną stratę siły, są:

1) Uderzenie się ciał niesprężystych. To zjawisko jest po większej części połączone ze zmianą postaci i ze złączeniem uderzających się ciał, a więc ze zwiększeniem sił napięcia; następnie przy często powtarzanych tego rodzaju uderzeniach znajdujemy znaczne wywiązywanie się ciepła, np. przy kuciu kawałka metalu; wreszcie część ruchu

*) Melloni w Pogg. Ann. Tom. LVII, str. 300. Brücke w Ann. Tom LXV, str. 593.

jest oddana, jako dźwięk, sąsiednim ciałom stałym i lotnym.

2) Tarcie zarówno na powierzchniach dwu ciał, poruszających się jedno po drugim, jako też i wewnątrz ciał przy zmianach postaci, wywołanych przez wzajemne przesunięcie się mniejszych cząstek. Również przy tarcu zachodzą po większej części drobne zmiany w cząsteczkowym układzie ciał, mianowicie, na początku ich wzajemnego tarcia; później, powierzchnie tak się wzajemnie przystosowują, że zmiany przy dalszym ruchu mogą być uważane za znikomo małe. W pewnych wypadkach niema ich zupełnie, np., gdy ciecze trą się o ciało stałe lub między sobą. Pozatem zawsze zachodzą zmiany cieplne i elektryczne.

W mechanice zwykliśmy przedstawiać tarcie, jako siłę, która przeciwdziała danemu ruchowi i której natężenie jest funkcją prędkości. Oczywiście, takie ujęcie, stworzone jedynie dla ułatwienia rachunków, jest wysoce niezupełnym wyrażeniem złożonego procesu, w którym występuje wzajemne działanie rozmaitych sił cząsteczkowych. Z takiego założenia wynikało, że przy tarcu siła żywa ulega bezwzględnemu zniweczeniu; to samo przyjmowano przy uderzeniach [nie] sprężystych. Przytem jednak nie jest wzięte pod uwagę to, że, pomijając powiększenie się sił napięcia przez zgęszczenie trących lub uderzających się ciał, ciepło wywiązane jest dla nas również siłą¹⁰⁾, przy jego zaś pomocy możemy wywołać działania mechaniczne; siłą jest również elektryczność, powstająca w większości wypadków; z niej zaś możemy otrzymać działanie mechaniczne albo bezpośrednio przy pomocy jej sił przyciągających lub odpychających, lub też pośrednio przez to, że wywiązuje ona ciepło. Pozostaje więc pytanie, czy suma tych sił zawsze odpowiada zniweczonej sile mechanicznej. W tych wypadkach, w których możliwie uniknęło się zmian cząsteczkowych i wywiązania się elektryczności, pytanie to postawione będzie w ten sposób: czy zawsze wzamian za pewną stratę siły mechanicznej powstaje oznaczona ilość ciepła, i jak dalece ilość ciepła może odpowiadać równowaznikowi siły mechanicznej. Dla rozstrzygnięcia

pierwszego pytania dokonano dotychczas niewielu badań. Joule *) badał ilości ciepła, które powstawały przy tarcu wody w cienkich rurach i w naczyniu, gdy woda była wprowadzona w ruch przez koło, zbudowane na podobieństwo turbiny; w pierwszym wypadku znalazł, że ciepło, które ogrzewa 1 kg. wody o 1° C. podnosi 452 kg. o 1 m, w drugim wypadku 521 kg.

Metody jego pomiarów za mało jednak odpowiadają trudnościom badania, żeby wyniki przez niego otrzymane mogły w jakikolwiek sposób rościć pretensję do dokładności; prawdopodobnie liczby te są za wysokie, gdyż w jego doświadczeniach ciepło może być bardzo łatwo stracone dla obserwatora, konieczna zaś strata siły mechanicznej w pozostałych częściach maszyny nie jest przez niego brana w rachubę.

Zwróćmy się teraz do dalszego pytania, o ile ciepło może odpowiadać równoważnikowi siły. Materyalna teoria ciepła musi z konieczności uważać ilość ciepła za stałą; siłę mechaniczną, według tej teorii, może on wytworzyć jedynie przez swoją dążność do rozprężania się. Dla teorii tej równoważnik siłowy ciepła może jedynie polegać na pracy, którą ciepło wykonywa, przechodząc od wyższej temperatury do niższej; w tym duchu opracowali to zagadnienie Carnot i Clapeyron i znaleźli, że wszystkie wnioski z założenia takiego równoważnika sprawdzają się przynajmniej dla gazów i par.

Dla objaśnienia ciepła tarcia teoria materyalna musi zakładać, że albo ciepło, jak to twierdzi W. Henry **), jest doprowadzane z zewnątrz, albo że powstaje, jak to twierdzi Berthollet ***), przez zgęszczanie powierzchni i oderwanie cząstek. Dotychczas brak jednak jakiegokolwiek doświadczenia, któreby potwierdzało pierwsze założenie, że w otoczeniu oderwanych cząstek wywiązuje się zimno, odpowiadające ilości ciepła,

*) J. P. Joule. On the existence of an equivalent relation between heat and the ordinary forms of mechanical power. Phil. Mag. XXVII. 205.

***) Mem. of the society of Manchester. T. V, str. 2. London 1892.

****) Statique chimique. T. I, str. 247.

często bardzo znacznej; drugie założenie, jeżeli nawet pominiemy, że musi ono przyjmować zupełnie nieprawdopodobne działanie zgęszczenia, którego, po większej części, nie można wykazać na wadze hydrostatycznej, upada całkowicie przy tarciu płynów i przy doświadczeniach, w których klin żelazny staje się dzięki kuciu rozżarzonym i miękkim, kawałek lodu topi się dzięki tarcu *); gdyż żelazo, które się stało miękkim, i woda, która powstała ze stopienia, nie mogą pozostać w stanie zgęszczonym. Poza to wytworzenie ciepła przez ruchy elektryczne wykazuje nam, że ilość ciepła istotnie może być bezwzględnie powiększona. Jeśli pominiemy elektryczność, otrzymywaną przez tarcie, i voltaiczną, gdyż możnaby przypuścić, że w tych wypadkach ciepłki, dzięki jakiemukolwiek związkowi i stosunkowi swemu do elektryczności, jest jedynie usunięty z początkowego miejsca i przeniesiony do nagrzanego przewodnika, to pozostają nam jeszcze dwa sposoby wytworzenia napięć elektrycznych na drodze czysto mechanicznej, na której nigdzie nie ma ciepła, które mogłoby być przeniesione, a mianowicie przez rozkład¹¹⁾ i przez ruch magnesów. Jeżeli mamy ciało, naelektryzowane dodatnio, zupełnie odosobnione, nie mogące stracić swej elektryczności, to przybliżony odosobniony przewodnik wykaże swobodną $+E$; będziemy ją mogli rozbroić na wewnętrznej zbroi baterji, przewodnik usunąć, dzięki czemu będzie on zawierał swobodną $-E$, która będzie rozbrojona na zewnętrznej zbroi pierwszej baterji lub na innej baterji. Przez powtarzanie tego doświadczenia możemy oczywiście dowolnie często elektryzować dowolnie wielką baterję, a przez jej rozbrojenie wywiązywać ciepło, które nigdzie nie znika. Zużyjemy zaś pewną ilość siły mechanicznej, przezwyciężając przy każdorazowym oddalaniu przewodnika, naelektryzowanego ujemnie, od ciała z indukowaną elektrycznością dodatnią wzajemne przyciąganie tych dwu ciał. Doświadczenie to jest istotnie wykonywane

*) Humphrey Davy. Essay on heat, light and the combinations of light

przy użyciu elektroforu do nabijania butelki lejdejskiej. To samo zachodzi w maszynach magneto-elektrycznych; dopóki magnes i twornik poruszają się względem siebie, powstają prądy elektryczne, wywiązujące ciepło w drucie, zamykającym obwód; i ponieważ prądy te ciągle przeciwdziałają ruchowi twornika względem magnesu, zużywają one na to pewną część siły mechanicznej. W tym wypadku z ciał, składających maszynę, może być, oczywiście, do nieskończoności wywiązywane ciepło, które nigdzie nie znika.

Joule *) starał się bezpośrednio dowieść na drodze doświadczalnej, że prąd magnetoelektryczny również wytwarza ciepło, a nie zimno, w części spirali, znajdującej się bezpośrednio pod wpływem magnesu. Otóż z tych faktów wynika, że ilość ciepła może być bezwzględnie powiększona przez siły mechaniczne, że przeto zjawiska cieplne nie mogą pochodzić z substancji, któraby je warunkowała samem swoim istnieniem, lecz że muszą one pochodzić ze zmian, z ruchów, czy to szczególnej substancji, czy też znanych już zresztą ważkich i nieważkich substancji np. elektryczności lub eteru świetlnego. To, co dotychczas nazywano ilością ciepła, będzie, według tego, wyrażeniem równem: po pierwsze, sile żywej ruchu cieplnego, po drugie, ilości tych sił napięcia w atomach, które mogą wywołać taki ruch przy zmianie ich układu; pierwszej części będzie odpowiadało to, co dotychczas nazywamy ciepłem swobodnem, drugiej to, co utajonem.

Z rozmaitych sposobów powstawania ciepła omówiliśmy powstawanie ciepła przez promieniowanie i przez siłę mechaniczną... Pozostaje wywiązywanie ciepła przy procesach chemicznych. Zjawisko to objaśniano dotychczas, jako uwalnianie się ciepłika, który znajduje się w stanie utajonym w łączących się ciałach.

Według tego każdemu ciału prostemu i każdemu związkowi chemicznemu, który może wstępować w związki

*) Phil. Magaz. 1844.

rzędu wyższego, musiano przypisywać oznaczoną ilość ciepła utajonego, które z konieczności należało do ich budowy chemicznej: tak więc wynikało stąd prawo, które częściowo było potwierdzone doświadczalnie, że przy chemicznym połączeniu większej ilości ciał dla tworzenia jednakowych związków zawsze była wytwarzana jednakowa ilość ciepła, bez względu na porządek i na pośrednie stopnie, w jakich związek mógł powstawać. Według naszego sposobu przedstawienia rzeczy, ciepło, powstające w chemicznych procesach byłoby ilością siły żywej, która mogłaby być wytworzona przez oznaczoną ilość chemicznej siły przyciągającej, i wyżej wspomniane prawo byłoby wyrażeniem zasady zachowania siły w tym wypadku.

Zanikanie ciepła równie mało zostało zbadane, jak warunki i prawa powstawania ciepła, chociaż zjawisko to niewątpliwie zachodzi. Dotychczas znany tylko wypadki, kiedy rozpadają się związki chemiczne lub pojawiają się rzadsze stany skupienia i tym sposobem ciepło staje się utajonem. Nigdy jeszcze nie było postawione pytanie, czy ciepło znika przy wytwarzaniu siły mechanicznej, co byłoby koniecznym postulatem zachowania siły¹²). W tej kwestyi mogę przytoczyć tylko jedno doświadczenie Joule'a, które wydaje mi się bardzo pewnem. A mianowicie, Joule znalazł, że powietrze, wypływające ze zbiornika objętości 136,5 cali sześciennych, w którym znajduje się pod ciśnieniem 22 atmosfer, oziębia otaczającą wodę o 4^o,085 F, gdy wypływa do atmosfery, której opór musi przewyciężyć. Jeżeli zaś powietrze przepływa do próżnego zbiornika o równej objętości, stojącego w tem samym naczyniu z wodą, kiedy więc nie ma żadnego oporu do przewyciężenia i nie wywiera żadnej siły mechanicznej, wtedy nie zachodzi zmiana temperatury. (Ob.str.244).

[W rozdziałach V i VI Helmholtz wykazuje, że zasada „zachowania siły“ stosuje się również do zjawisk elektrycznych i elektro-magnetycznych].

Ze znanych procesów natury pozostają nam jeszcze procesy zachodzące w organizmach.

Procesy, zachodzące w roślinach, są głównie natury chemicznej, pozatem zaś wytwarza się, przynajmniej w niektórych, niewielka ilość ciepła. Przeważnie zawierają one potężną ilość chemicznych sił napięcia, których równoważnik otrzymujemy w postaci ciepła przy spalaniu substancji roślinnych. Jedyną siłą żywą, która jest za to, według naszych dotychczasowych wiadomości, pochłaniana przez rośliny podczas wzrostu, są promienie chemiczne światła słonecznego. Tymczasem brak nam jeszcze wszystkich danych do bliższego porównania równoważników siłowych, które są wtedy stracone lub zyskane. Dla zwierząt mamy już niektóre wytyczne punkty. Zwierzęta pobierają złożone utleniające się związki, wytworzone przez rośliny, oraz tlen, wydają też z siebie substancje po większej części spalone, w postaci kwasu węglowego i wody, częściowo zaś zredukowane do prostszych połączeń, zużywają więc pewną ilość chemicznych sił napięcia, i wytwarzają za to ciepło i siły mechaniczne. Ponieważ siły te przedstawiają stosunkowo małą pracę w porównaniu z ilością ciepła, pytanie przeto co do zachowania siły redukuje się do zagadnienia, czy spalanie i przemiana substancji, służących do pożywienia, wytwarza taką samą ilość ciepła, jaką wydają zwierzęta. Na pytanie to można na zasadzie doświadczeń Dulong'a i Despretz'a odpowiedzieć twierdząco przynajmniej w przybliżeniu.

Sądzę, że to, co wyżej przytoczyłem, wykazuje, iż omawiane prawo nie przeczy żadnemu ze znanych dotychczas faktów nauk przyrodniczych, przez wielką zaś ilość faktów jest w uderzający sposób potwierdzone. Starłem się możliwie wyczerpująco przedstawić wnioski, które wypływają z zestawienia tego prawa z innymi znanymi dotychczas prawami zjawisk przyrody, i które muszą jeszcze czekać na potwierdzenie przez doświadczenie. Celem tego badania, który niech mnie usprawiedliwi za jego część hypotetyczną, było możliwie dokładne przedstawienie fizykom teoretycznej, praktycznej i heurystycznej wagi tego prawa, którego zupełne potwier-

dzenie musi być uważane za główne zadanie najbliższej przyszłości fizyki.

U W A G I.

¹⁾ (Str. 268) W uwagach, dopisanych przez Helmholtz'a w 1881 r., w miejscu tem jest zaznaczone, że na rozumowaniu, przytoczonym w tekście, odbił się bardzo silnie wpływ filozofii Kant'a i że poglądów tych nadal nie uważa Helmholtz za słuszne. Dalsze wyjaśnienia Helmholtz'a następczą jednak dużo wątpliwości natury filozoficznej.

²⁾ (Str. 270) W uwagach z 1881 r. Helmholtz częściowo ogranicza podane w tekście twierdzenia.

³⁾ (Str. 271) Patrz str. 222.

⁴⁾ (Str. 272) Clapeyron (Benoit Paul), ur. w 1799 r., zm. 1864 r., był inicjatorem kolei żelaznych we Francji. Jedną z jego istotnych zasług naukowych stanowiło wprowadzenie graficznego sposobu przedstawienia procesów fizycznych. Sposób ten zastosował do wyników, otrzymanych przez Carnot'a, przez co nie mało się przyczynił do spopularyzowania jego myśli. Rozbiór, który Clapeyron poświęcił pracy Carnot'a (*Journal de l'école polytechnique*. T. XIV. 1834 — *Poggendorf's Annalen* T. 59 r. 1843), przez długie lata był jedynym źródłem, z którego fizycy mogli się czegoś o „Uwagach o potędze poruszającej ognia“ dowiedzieć.

⁵⁾ (Str. 274) Przez „siły napięcia“ lub „sumę sił napięcia“ Helmholtz rozumiał to, co obecnie nazywamy „energją potencjalną“.

⁶⁾ (Str. 275) Stwierdzenie identyczności różnych części widma było pracą wielu lat. Doświadczenia Melloni'ego, o których niżej wspomina Helmholtz, przygotowały ku temu grunt; zagadnienie to było następnie podjęte przez Masson'a i Jamin'a dla promieni „cieplnych“ i przez Becquerel'a dla promieni „chemicznych“.

⁷⁾ (Str. 275) Wzorowi temu nadajemy obecnie zazwyczaj postać nieco odmienną:

$$u = \frac{2\pi}{T} a \cos \left[\frac{2\pi}{\lambda} (x - at) \right]$$

Siła żywa cząsteczki w położeniu równowagi równać się będzie

$$\frac{1}{2} \Delta mu^2 = \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot a^2.$$

(Patrz A. Witkowski, Zasady fizyki. Tom I. Wydanie trzecie. str. 55, 430 i nast.)

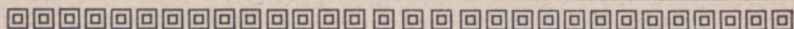
⁸⁾ (Str. 276) Mamy poważne powody przypuszczać, że w zjawisku fosforescencji ważną rolę odgrywa energia atomowa ciał.

⁹⁾ (Str. 277) W ten sposób Helmholtz nazywa to, co dzisiaj oznaczamy przez „mechaniczny równoważnik“.

¹⁰⁾ (Str. 278) Słowo „siła“ jest przez Helmholtz'a, jak to zresztą widać już w tytule rozprawy, używane w dwojakim znaczeniu: siły i energii.

¹¹⁾ (Str. 280) Chodzi tu o indukcję elektrostatyczną.

¹²⁾ (Str. 282) Zagadnienie to podjął Hirn w 1858 r., badając ilość ciepła, zużytego w maszynie parowej.



Rudolf Clausius.

(1822—1888)

Gdy zasada zachowania energii coraz bardziej ustalała się w fizyce, broszurka Carnot'a spoczywała w zupełnem zapomnieniu. Nawet ci, którzy, jak Helmholtz, zaznajomili się z jej treścią w opracowaniu Clapeyron'a, nie zdawali sobie sprawy z olbrzymiego znaczenia jej twierdzeń. Los zdarzył, że broszura ta wpadła w ręce młodemu fizykowi angielskiemu Williamowi Thomson'owi. Zrozumiał on odrazu, że ma do czynienia z odkryciem pierwszorzędnej wagi, z którego wyniknąć mogą nieobliczalne wprost korzyści dla nauki. Przedewszystkiem uderzyło go twierdzenie Carnot'a, że wydajność maszyny odwracalnej nie zależy bynajmniej od rodzaju ciała czynnego, a jedynie od temperatur ogniska i chłodnicy. Stanowiło to więc nareszcie urzeczywistnienie ideału fizyków, dążących do oparcia pomiarów termometrycznych na własnościach energii cieplnej, niezależnych od rodzaju ciała użytego. W pracy, ogłoszonej w 1848 r. w *Philosophical Magazine* „O bezwzględnej skali termometrycznej etc.“, czyni słuszną uwagę, że skale dotychczas używane należy uważać

„za dowolny szereg ponumerowanych punktów odniesienia, dostatecznie ścisły dla wymagań termometrii praktycznej. W obecnym zatem stanie nauki fizyki powstaje zagadnienie ogromnej wagi: czy jest zasada, na której może być oparta bezwzględna skala termometru? Wydaje mi się, że teoria Carnot'a poruszającej potęgi ciepła pozwala nam dać odpowiedź twierdzącą “*”).

*) Cytata wzięta z E. Mach'a „Die Principien der Wärmelehre“ str. 233.

W parę lat potem Thomson ostatecznie opracował, jak wiadomo, taką skalę bezwzględną, (Patrz: A. Witkowski. Zasady fizyki. Tom 2 str. 226). Prowadząc dalsze badanie nad teorią Carnot'a, Thomson w 1849 r. doszedł do wniosku, że, według niej, woda przy 0° C. może być zamieniona w lód bez zużycia pracy. To jednak, jak zauważył brat jego James Thomson, prowadzi do wniosku, że praca może powstawać z niczego, gdyż marznąca woda, rozszerzając się, wykonywa pracę. Jeżeli jednak przyjmiemy, że przy wyższym ciśnieniu punkt zamarzania leży poniżej 0° C., to wniosek ten upada. Obniżenie punktu krzepnięcia pod wpływem ciśnienia istotnie zostało stwierdzone następnie przez W. Thomson'a. Te dwa fakty, że pominiemy inne, dowodnie przekonywały o niestychanej płodności teorii Carnot'a, z którą tymczasem zapoznał się cały świat naukowy ze streszczenia tej teorii, napisanego przez Thomson'a, i wydanego pod tytułem „Znaczenie teorii Carnot'a o poruszającej potędze ognia” (Edinb. Trans. tom XVI, część V, str. 541). Już jednak w tej pierwszej rozprawie Thomson zwraca uwagę na liczne trudności, związane z włączeniem teorii Carnot'a do ogólnych teorii fizycznych. Trudności te można podzielić na dwie kategorie. Jedne z nich wypływały z konieczności usunięcia z doводу, podanego przez Carnot'a, założenia „o niezniszczalności ciepłika”, założenia, będącego w jawnej sprzeczności z ustaloną przez prace Mayer'a, Joule'a i Helmholtz'a, zasadą zachowania energii. Trudność pogodzenia tej zasady z teorią Carnot'a, którą doskonale uwydatnił Thomson, została usunięta przez Clausius'a w niżej podanej pracy. Clausius, a następnie Thomson zastąpili zasadę „niezniszczalności ciepłika” inną zasadą, nazywaną obecnie zasadą Carnot'a-Clausius'a lub drugą zasadą termodynamiki. Z drugiej strony, z teorii Carnot'a wynikało, że energia cieplna nie zawsze przechodzić może w energię mechaniczną, że więc energie nie mogą bez ograniczeń przechodzić jedna w drugą. Ta strona zagadnienia została wszechstronnie rozpatrzona przez Clausius'a, który wprowadził nowe pojęcie — równoważności przemian. Wszelkie przemiany fizyczne mogą być, według Clausius'a, podzielone na dwie kategorie: „naturalne”, zachodzące w przyrodzie „samorzutnie”, t. zn. których zjawienie się nie wymaga innych dodatkowych przemian, i „sztuczne”, którym zawsze towarzyszy przemiana „naturalna”. Do pierwszej kategorii należą

*) „An account of Carnot's theory of motive power of heat“.

zjawiska takie, jak przechodzenie ciepła z ciała o wyższej do ciała o niższej temperaturze, zamiana energii mechanicznej w ciepłą, do drugiej takiej, jak przejście ciepła z ciała o temperaturze niższej do ciała o wyższej temperaturze, przejście energii cieplnej w mechaniczną. Może się zdarzyć, że przemiana „naturalna“ jest równoważna przemianie „sztucznej“, której towarzyszy, zazwyczaj jednak jest od niej większa, skąd wynika przewaga przemian „naturalnych“ w przyrodzie. Każda zaś przemiana „naturalna“ zmniejsza zdolność energii do przechodzenia w inną postać. Opierając się na tych pojęciach, Clausius i Thomson, postawili, jako ostateczny wniosek z zasady Carnot'a, zasadę „rozpraszania energii“. Zasadę tę jasno sformułował Tait:

„Ponieważ każdy proces, zachodzący w przyrodzie, pociąga za sobą przemianę energii i ponieważ każdej przemianie towarzyszy degradacja energii (przez energię zdegradowaną rozumiemy energię mniej zdolną do przemiany, niż poprzednio), wynika stąd, że energia staje się coraz mniej zdolną do przemian. W miarę, jak zachodzą zmiany w przyrodzie, energia wszechświata *) degraduje się coraz bardziej, i stąd widać, o ile nasza wiedza pozwala to przewidzieć, jaka musi być jej postać końcowa. Musi nią być ciepło, jednostajnie rozłożone tak, że wszystkie ciała posiadać będą tę samą temperaturę. Czy temperatura ta będzie wysoka czy niska, to małe ma znaczenie, gdyż, skoro ciepło jest rozdzielone w ten sposób, że wszędzie podtrzymuje jednostajną temperaturę, znajduje się w stanie, z którego nie może się podnieść. Dla wytworzenia z ciepła jakiegokolwiek pracy jest rzeczą bezwzględnie konieczną posiadanie ciała gorącego i zimnego; ale jeżeli cała energia wszechświata jest zamieniona na ciepło i jeżeli znajduje się we wszystkich ciałach w tej samej temperaturze, jest rzeczą niemożliwą, przynajmniej zapomocą znanych nam sposobów, zamienić najmniejszą cząstkę tej energii w postać bardziej użyteczną“ **).

*) O ile możemy uważać wszechświat za układ odosobniony (przyp. tłum.).

**) P. G. Tait. Conférences sur quelques-uns des progrès récents de la physique. Paris 1887, str. 192.

Zasada Carnot'a nie została łatwo przyjęta przez ówczesny świat naukowy. Tak np. jeden ze znakomitszych fizyków francuzkich Hirn, którego nazwisko wyżej już było przytaczane, obmyślił cały szereg doświadczeń, mających wykazać jej zupełną bezpodstawność. Fakt ten nie powinien nas dziwić. O ile bowiem zasada zachowania energii, opracowywana od 17-go wieku, odpowiada naszemu wewnętrznemu przekonaniu, będąc zasadą zachowawczą, o tyle zasada Carnot'a, zasada par excellence doświadczalna, przeczy naszym przyzwyczajeniom myślowym, wyznaczając kres wszystkimi zjawiskom. W dodatku, zasada Carnot'a przez wprowadzenie do nauki procesów nieodwracalnych utrudniła w wysokim stopniu mechaniczne ujęcie zjawisk przyrody. Próby podporządkowania jej ogólnym zasadom mechaniki były czynione przez samego Clausius'a, przez Helmholtz'a i wreszcie przez Boltzmann'a, którego metoda, okazała się, jak się zdaje, najplodniejszą. (Patrz O. Chwolson. Kurs fizyki. Tom 3. St. Petersburg 1905, str. 357 i 412. H. Poincaré. Thermodynamique. 2 wydanie. Paris. 1908, str. 419).

Jakikolwiek jednak będzie wynik prac nad tą najgłębszą zasadą nauki, to jednak badania Clausius'a i Thomson'a raz na zawsze wprowadziły ją do fizyki, czyniąc z niej podstawę olbrzymiej dziedziny wiedzy — termodynamiki.

Clausius (Rudolf), ur. 2 stycznia 1822 r., um. 24 sierpnia 1888 r. Po ukończeniu studyów w Berlinie i Halli, został docentem w Berlinie, w kilka zaś lat później profesorem fizyki w politechnice w Zurychu. W 1866 r. został profesorem w Würzburgu i w 1869 r. w Bonn, gdzie umarł. Jest on twórcą mechanicznej teorii ciepła, której poświęcił wiele prac. Posiadając dar teoretycznego ujmowania zagadnień, nie zajmował się nigdy doświadczalną ich stroną; nigdy jednak w badaniach swoich nie zaniedbywał uwzględnić danych, znalezionych w doświadczeniu. Dorobek jego naukowy posiada do dziś dnia ogromne znaczenie.

O sile poruszającej ciepła i o prawach, które można stąd wyprowadzić dla nauki o ciepłe *).

(Pogg. Annalen. Tom 79. Rok 1850).

Odkąd przy pomocy maszyn parowych używamy ciepła, jako siły poruszającej, dzięki czemu z punktu widzenia praktycznego uważamy pewną pracę za równoważnik potrzebnego na jej wytworzenie ciepła, nasuwało się również przypuszczenie, że, i teoretycznie biorąc, istnieje określony związek między pewną ilością ciepła i pracą, która może być otrzymana, i wydawało się wskazanem skorzystać z tego związku, aby zeń wyprowadzić wnioski, dotyczące istoty i praw ciepła....

Najważniejsze badania tej kwestyi dotyczące, należą do S. Carnot'a **), poglądy zaś tego autora zostały później jeszcze bardzo zręcznie analitycznie przedstawione przez

*) „Ueber die bewegende Kraft der Wärme und die Gesetze, welche sich davon für die Wärmelehre selbst ableiten lassen“ von R. Clausius. Tłómaczone z przedruku w „Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften“ № 99.

**) Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance, par S. Carnot. Paris. 1824. Nie mogłem się wystarać dla siebie o to dzieło, znam je więc tylko z opracowań Clapeyron'a i Thomson'a, i niżej przytoczone ustępy za-czerpnąłem z opracowania tego ostatniego.

Clapeyron'a^{*)}). Carnot dowodzi, że za każdym razem, gdy ciepło wykonywa pracę, i jednocześnie nie zachodzi trwała zmiana w stanie działającego ciała, pewna ilość ciepła przechodzi z ciała ciepłego do zimnego.... To przeniesienie uważa on za zmianę cieplną, odpowiadającą wykonanej pracy. Mówi wyraźnie, że ciepło przy tem nie ginie, lecz że ilość ciepła pozostaje niezmienną, przyczem dodaje: „Fakt ten nigdy nie był podawany w wątpliwość; przyjęty był początkowo bez rozważania i następnie w wielu wypadkach sprawdzony przez doświadczenia kalorymetryczne. Zaprzeczyć mu, znaczyłoby obalić całą teorię ciepła, której jest podstawą“. Nie jest mi jednak znanem, żeby w sposób dostatecznie pewny stwierdzono w doświadczeniu, że przy wytwarzaniu pracy nigdy nie zachodzi strata ciepła; można raczej twierdzić z większem, być może, prawem przeciwnie, że, jeżeli podobna strata nie została jeszcze bezpośrednio wykazana, to jednak może być uważana na podstawie innych faktów nie tylko za dopuszczalną, ale nawet za wysoce prawdopodobną.

Jeżeli przyjmiemy, że ciepło podobnie, jak materya nie może zmniejszać się co do ilości, to musimy również przyjąć, że nie może się powiększać. Jest jednak rzeczą prawie niemożliwą objaśnić ogrzewanie, wywołane np. przez tarcie, bez przypuszczenia, że się ilość ciepła powiększa; dzięki starannym badaniom Joule'a, w których przy użyciu pracy mechanicznej było najrozmaitszymi sposobami wytwarzane ogrzewanie, stało się prawie pewnem twierdzenie, że z jednej strony wogóle można powiększać ilość ciepła, z drugiej zaś, że ilość nowowytworzonego ciepła jest proporcjonalna do użytej na to pracy. Do tego dodać jeszcze należy, że w nowszych czasach coraz więcej poznajemy faktów, przemawiających za tem, że ciepło nie jest substancją, lecz polega na ruchu najmniejszych ciał. Jeżeli to jest słusznem, to do ciepła również możemy stosować ogólne twierdzenie mechaniki, że istniejący

^{*)} Journal de l'école polytechnique. Tom XIX (1834) i Poggend. Annalen. Tom. LIX.

ruch możemy zamienić na pracę i przytem tak, że strata żywej siły jest proporcjonalna do wykonanej pracy.

[Thomson] wyraźnie mówi o przeszkodach, które nie pozwalają na przyjęcie bez zastrzeżeń teorii Carnot'a, przy czem powołuje się przede wszystkim na badania Joule'a i zwraca również uwagę na zasadniczy zarzut, jaki możnaby jej uczynić. Mianowicie, jeżeli przy każdym wytwarzaniu pracy, o ile ciało czynne po jej wytworzeniu jest znów w tym samym stanie, co poprzednio, ciepło przechodzi z ciała ciepłego do zimnego, to jednak odwrotnie nie przy każdym takim przejściu będzie również wytwarzana praca; gdyż ciepło może być również przeniesione przez proste przewodzenie; w tych wszystkich przeto wypadkach, o ile samo przejście ciepła byłoby istotnym równoważnikiem pracy, zachodziłaby w przyrodzie strata siły pracy, co nie łatwo można sobie wystawić. Mimo to, dochodzi on do wniosku, że przy obecnym stanie nauki należy uważać zasadę, przyjętą przez Carnot'a, za najprawdopodobniejszą podstawę badania poruszającej siły ciepła i mówi: „jeżeli odrzucimy tę zasadę, napotkamy inne niezliczone trudności, które są nie do przewyciężenia bez dalszego doświadczalnego badania i bez zupełnego przebudowania od podstaw teorii ciepła“¹⁾.

Sądę jednak, że nie należy się odstraszać temi trudnościami i raczej należy, o ile możności, zżyć się z wnioskami, wypływającymi z poglądu, że ciepło jest ruchem, wobec tego, że na tej jedynie drodze możemy znaleźć środek na ustalenie lub obalenie tego poglądu. Również nie uważam tych trudności za tak znaczne, jak to przedstawia Thomson, gdyż, jeżeli należy również pewne rzeczy zmienić w używanych do dziś wyobrażeniach, to jednak nigdzie nie mogę znaleźć sprzeczności z dowiedzionymi faktami. Nie jest nawet rzeczą konieczną odrzucać przytem zupełnie teorię Carnot'a, na co z pewnością trudno byłoby się zdecydować, gdyż znalazła ona częściowo uderzające potwierdzenie w doświadczeniu. Przy bliższem jednak rozpa-

trzeniu znajdujemy, że z nowym sposobem rozważania jest w sprzeczności nie właściwa podstawowa zasada Carnoła, lecz jedynie dodatek, że ciepło nie ginie, gdyż przy wytwarzaniu pracy zachodzą równocześnie obie rzeczy; mianowicie pewna ilość ciepła jest zużywana, inna zaś jest przenoszona z ciała ciepłego do zimnego, i obiedwie ilości ciepła mogą być w oznaczonym związku z wytworzoną pracą. Lepiej się to uwydatni w dalszym ciągu, i okaże się wtedy, że wynikające z obydwu założeń wnioski nie tylko mogą się ostać obok siebie, lecz nawet potwierdzają się wzajemnie.

I. Wnioski z podstawowego twierdzenia o równoważności ciepła i pracy.

Nie będziemy tutaj bliżej się zagłębiali w rodzaj ruchu, który można sobie wystawić we wnętrzu ciała, lecz tylko przyjmujemy ogólnie, że istnieje ruch cząstek, i że ciepło jest miarą jego siły żywej, lub raczej, jeszcze ogólniej, ustalimy jedynie, jako podstawowe twierdzenie, uwarunkowane powyższem założeniem, co następuje:

„we wszystkich wypadkach, gdy z ciepła powstaje praca, jest zużywana ilość ciepła proporcjonalna do wytworzonej pracy, i odwrotnie, przez zużycie równie wielkiej pracy może być wytworzona ta sama ilość ciepła“.

Mówi się często o całkowitem ciepłe ciała, zwłaszcza gazów i par, przyczem rozumie się przez nie sumę ciepła swobodnego i utajonego, i przyjmuje się, że jest ono wielkością zależną jedynie od obecnego stanu rozpatrywanego ciała tak, że, gdy się zna wszystkie jego pozostałe własności fizyczne, jego temperaturę, jego gęstość i t. d., to również jest dokładnie oznaczone całkowite ciepło w niem zawarte. Takie założenie nie jest już jednak dopuszczalne wobec poprzedniego twierdzenia zasadniczego. Gdy, mianowicie, dane jest ciało w oznaczonym stanie, np. pewna ilość

gazu w temperaturze t_0 i objętości v_0 i gdy wywołujemy w niem rozmaite przemiany co do temperatury i objętości, lecz ostatecznie doprowadzamy je znowu do stanu początkowego, to, według owego założenia, jego ciepło całkowite znowu musi być takie same, jak i z początku; stąd wynika, że gdy podczas jednej części przemian było mu udzielone ciepło zzewnątrz, podczas drugiej części to samo ciepło musiało być z powrotem oddane nazewnątrz. Przy wszelkiej jednak zmianie objętości będzie przez gaz wykonana lub zużyta pewna praca, gdyż przy rozszerzaniu przewycięża on ciśnienie zewnętrzne i odwrotnie, ściskanie może być wywołane jedynie przez przesuwanie się w kierunku działania ciśnienia zewnętrznego. Jeżeli więc przy wykonanych w niem zmianach zaszyły również zmiany objętości, to musiała być tutaj również zużyta i wykonana praca. Nie jest jednak koniecznem, aby ostatecznie, gdy ciało doszło do swego poprzedniego stanu, cała wytworzona praca była równa zużytej tak, żeby się wzajemnie znosiły, lecz może zająć przewyżka jednej lub drugiej, zależnie od tego, czy ściskanie było wywoływane przy wyższej lub niższej temperaturze, niż rozszerzanie.... Tej nadwyżce wytworzonej lub zużytej pracy musi według podstawowego twierdzenia odpowiadać proporcjonalna nadwyżka zużytego lub wytworzonego ciepła; gaz więc może oddać nazewnątrz nie tyle ciepła, ile zzewnątrz pobrał.

Tę samą sprzeczność z ogólnie przyjmowanem założeniem co do ciepła całkowitego można jeszcze przedstawić w sposób nieco odmienny. Gdy gaz o t_0 i v_0 ma być doprowadzony do wyższej temperatury t_1 i większej objętości v_1 , to ilość ciepła, którą musimy w tym celu gazowi udzielić, byłaby, według owego założenia, niezależna od sposobu, w jaki się odbywa ta zmiana; z powyższego jednak zasadniczego twierdzenia wynika, że będzie ona różna zależnie od tego, czy gaz naprzód jest ogrzany przy stałej objętości v_0 i następnie podlega rozszerzeniu w stałej temperaturze t_1 , czy też naprzód zachodzi rozszerzenie w temperaturze t_0 , i następnie odbywa się ogrzewanie, lub też rozszerzanie i ogrze-

wanie zmieniają się w jakikolwiek inny sposób lub też obadwa jednocześnie zachodzą; gdyż w tych wszystkich przypadkach praca, wykonana przez gaz, jest różna.

Również, gdy pewna ilość wody o temperaturze t_0 ma być zamieniona na parę o temperaturze t_1 i objętości v_1 , musimy uwzględnić różnicę w ilości potrzebnego na to ciepła, w zależności od tego, czy woda jest naprzód ogrzana, jako taka, do t_1 i następnie odparowana, czy też odparujemy ją w t_0 i następnie doprowadzimy parę do żądanej objętości i żądanej temperatury v_1 i t_1 , czy też wreszcie parowanie zachodzi przy jakiegokolwiek przeciętnej temperaturze.

Gdy jakiegokolwiek ciało zmienia swą objętość, to naogół będzie przytem wytwarzana lub zużywana praca mechaniczna. W większości jednak wypadków jest rzeczą niemożliwą dokładnie ją wyznaczyć, gdyż zazwyczaj jednocześnie z pracą zewnętrzną zachodzi jeszcze nieznaną pracę wewnętrzną. Dla uniknięcia tej trudności, Carnot zastosował wyżej wspomniany dowcipny sposób, a mianowicie poddawał on ciało rozmaitym kolejnym zmianom, tak po sobie następującym, że ciało ostatecznie znowu wracało dokładnie do swego stanu początkowego. Wtedy bowiem, jeżeli przy pewnych przemianach była wykonana praca wewnętrzna, przy innych musiała ona być zniesiona; wtedy też jest się pewnym, że praca zewnętrzna, która pozostaje w przemianach jest również całą naogół wykonaną pracą. Clapeyron przedstawił nader poglądowo to postępowanie sposobem graficznym.

Ten sposób przedstawienia zastosujemy przedewszystkiem do gazów trwałych, z małą atoli zmianą, uwarunkowaną przez twierdzenie zasadnicze. Wyznaczamy na umieszczonej figurze objętość jednostki wagi gazu przez odciętą oe , a przez rzędną ea jej prężność w stanie, w którym temperatura byłaby $=t$.

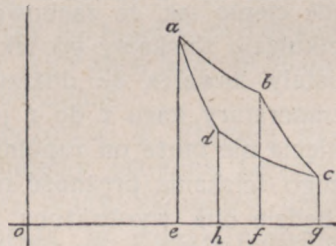


Fig. 35.

Przyjmujemy, że gaz znajduje się w rozciągliwej powłoce, z którą jednak ciepła wymieniać nie może. Gdy teraz pozwolimy mu rozszerzać się w tej powłoce, temperatura jego obniży się, jeżeli nie udzielimy mu żadnego nowego ciepła. Aby temu zapobiedz, wprowadźmy go podczas rozszerzania się w zetknięcie z ciałem A , które jest utrzymywane w stałej temperaturze t i które udziela gazowi zawsze tyle ciepła, żeby jego temperatura także pozostała $=t$. Podczas tego rozszerzania się w stałej temperaturze prężność zmniejsza się według prawa Mariotte'a, i można ją przedstawić zapomocą rzędnej krzywej ab , która jest kawałkiem hyperboli równobocznej. Gdy gaz powiększył w ten sposób swoją objętość od oe do of , odsuwamy ciało A , i pozwalamy gazowi dalej się rozszerzać, nie dopuszczając jednak dopływu nowego ciepła. Wtedy temperatura spadnie, i wskutek tego prężność prędzej się będzie zmniejszała, niż poprzednio, i prawo, według którego to się odbywa, będzie przedstawione przez krzywą bc . — Gdy objętość gazu powiększy się w ten sposób od of do og , i przytem temperatura jego również obniży się od t do τ , wtedy zaczynamy go ścisnąć z powrotem, aby go doprowadzić do objętości początkowej oe . Wtedy temperatura jego równieżby się podniosła, gdyby był pozostawiony samemu sobie. Tego jednak właśnie nie dopuścimy, lecz wprowadzimy go w zetknięcie z ciałem B o stałej temperaturze τ , któremu musi on od razu oddawać powstające ciepło tak, że zachowa stale temperaturę τ ; przy tem zetknięciu ściskamy go tak daleko (o kawałek gh), aby pozostały kawałek he dokładnie wystarczył dla podniesienia temperatury gazu τ do t , jeżeli podczas tego ostatniego ściśnięcia nie może on zupełnie oddawać ciepła. Podczas pierwszego ściskania prężność rośnie według prawa Mariotte'a, i będzie ona wyobrażona przez kawałek hyperboli równobocznej. Podczas ostatniego zaś prędzej odbywa się przyrost; przedstawimy go krzywą da . Krzywa ta musi się kończyć dokładnie w a , gdyż wobec tego, że w końcu zabiegów objętość i temperatura przybierają z powrotem swe wartości początkowe, to samo również musi zachodzić z prężnością,

która jest funkcją temperatury i objętości. Gaz więc znajduje się obecnie znowu w tym samym stanie, co i na początku. Ażeby wyznaczyć wykonaną przy tych przemianach pracę, powinniśmy zwrócić naszą uwagę z wyżej przytoczonych przyczyn tylko na pracę zewnętrzną. Podczas rozszerzania gaz wykonywa pracę, którą wyznacza cała z iloczynu różniczki objętości przez odpowiednią prężność; którą więc przedstawiają geometrycznie czworokąty $eabf$ i $fbcg$. Przy ścisaniu zaś będzie zużyta praca, przedstawiona również przez czworokąty $gcdh$ i $hdae$. Przewyżkę pierwszej pracy nad drugą należy uważać za pracę ogółem wykonaną podczas przemian, i ta przewyżka będzie wyobrażona przez czworokąt $abcd$. Jeżeli wykonamy ten całkowity proces w odwrotnym porządku, to otrzymamy tę samą wielkość $abcd$, jako przewyżkę pracy zużytej nad wykonaną.

II. Wnioski z podstawowego twierdzenia Carnot'a w związku z poprzedniem.

Carnot przyjął, jakśmy o tem już wyżej wspominali, że wytworzeniu pracy odpowiada, jako równoważnik, proste przejście ciepła z ciała ciepłego do zimnego, przyczem ilość ciepła się nie zmniejsza.

Ostatnia część tego założenia, mianowicie, że ilość ciepła pozostaje nieuszczerploną, przeczy naszemu poprzedniemu twierdzeniu zasadniczemu i wobec tego musi być odrzucona, skoro chcemy utrzymać tanto twierdzenie.

Pierwsza zaś część może pozostać w głównej swej treści, gdyż, jeżeli już nie potrzebujemy jakiegoś szczególnego równoważnika dla wykonanej pracy, skorośmy uznali za taki rzeczywiste zużycie ciepła, to jednak pozostaje możliwość, że owo przejście zachodzi równocześnie ze zużyciem i również znajduje się w oznaczonym stosunku do pracy. Wypada więc zbadać, czy to założenie posiada poza możliwością również dostateczne prawdopodobieństwo.

Zapewne, że przejście ciepła z ciała ciepłego do zimnego zachodzi w tych wypadkach, gdy ciepło wykonywa pracę i gdy jednocześnie jest spełniony warunek, aby ciało czynne znalazło się na końcu w tym samym stanie, co na początku. Widzieliśmy np. w opisanym wyżej i wyobrażonym na fig. 35 procesie, że gaz i woda parująca pobierają ciepło od ciała A przy zwiększaniu objętości, oddają zaś ciepło ciału B przy zmniejszaniu objętości, tak, że tym sposobem pewna ilość ciepła zostaje przeniesiona od ciała A do ciała B . Aby jednak módz wyprowadzić związek między ciepłem przeniesionem i pracą, konieczne jest jeszcze jedno ograniczenie. A mianowicie, ponieważ przejście ciepła może również zachodzić bez działania mechanicznego, gdy ciała ciepłe i zimne stykają się bezpośrednio, i ciepło przepływa dzięki przewodnictwóm, to, jeżeli chcemy osiągnąć maximum pracy przy przejściu oznaczonej ilości ciepła między dwoma ciałami o oznaczonych temperaturach t i τ , proces musi się odbyć tak, jak to zachodziło w poprzednich wypadkach, — żeby ciała o różnych temperaturach nigdy się nie stykały ze sobą.

Otóż to maximum pracy jest tem, co mamy porównywać z przejściem ciepła; wtedy też znajdujemy, że istotnie mamy zasadę przyjmowania za Carnot'em, że to maximum zależy jedynie od ilości ciepła przeniesionego i od temperatur t i τ obydwu ciał A i B , a nie od natury substancji pośredniczącej. To maximum posiada tę mianowicie własność, że przez zużycie go można z powrotem przenieść od ciała zimnego B do ciepłego A równie wielką ilość ciepła, jaka musi przejść od A do B przy wytwarzaniu go. Możemy się o tem łatwo przekonać, jeżeli sobie wyobrazimy cały wyżej opisany przebieg, jako odbywający się w odwrotnym kierunku, tak, że np. w pierwszym wypadku gaz z początku sam się rozszerza, aż temperatura jego spadnie od t do τ ; następnie rozszerza się dalej w połączeniu z B , potem jest ściskany oddzielnie, aż temperatura jego znowu będzie t , i wreszcie doznaje ostatecznego ściśnięcia w połączeniu z ciałem A . Wtedy przy ściskaniu zużyjemy więcej pracy, niż

się jej wytworzy przy rozszerzaniu tak, że naogół zajdzie strata pracy, równie wielka, jak wielkim był zysk, który był otrzymany przy poprzednim doświadczeniu. Następnie ciało *B* odda tyleż ciepła, ile poprzednio pobrało, i ciało *A* pobierze tyle ciepła, ile poprzednio oddało; stąd wynika, że zarówno będzie wytworzona ta sama ilość ciepła, która poprzednio była zużyta, jak również ta ilość ciepła, która poprzednio była przeniesiona od *A* do *B*, obecnie przechodzi od *B* do *A*.

Jeżeli sobie teraz wyobrazimy, że mamy dane dwa ciała, z których jedno może wytworzyć przy oznaczonym przejściu ciepła więcej pracy, niż drugie, lub, co na jedno wychodzi, przy wykonaniu oznaczonej pracy przenosi mniej ciepła od *A* do *B*, niż drugie, to moglibyśmy używać obydwu tych ciał na przemian, przyczem wytwarzalibyśmy pracę w wyżej podanym procesie przy pomocy pierwszego i wykonywalibyśmy proces odwrotny, stosując tę samą pracę przy pomocy drugiego. Wtedy ostatecznie obydwie ciała byłyby znowu w swym stanie początkowym; dalej, wytworzona i zużyta praca znosiłaby się dokładnie, i, co za tem idzie, ilość ciepła nie mogłaby, stosownie do poprzedniego zasadniczego twierdzenia, ani się powiększyć ani zmniejszyć. Jedynie pod względem rozkładu ciepła zaszłaby różnica, wobec tego, że większa ilość ciepła byłaby przeniesiona od *B* do *A*, niż od *A* do *B*, i, co za tem idzie, zaszłoby naogół przejście od *B* do *A*. Moglibyśmy więc przez powtarzanie naprzemian tych dwu procesów przenosić bez zużycia siły lub bez posługiwania się jakąś inną przemianą dowolną ilość ciepła z ciała zimnego do ciała ciepłego, a to przeczy zachowaniu się ciepła w innych wypadkach, wobec tego, iż wykazuje ono naogół dążność do wyrównania zachodzących różnic temperatury, a więc do przechodzenia z ciała cieplejszego do zimniejszego²⁾.

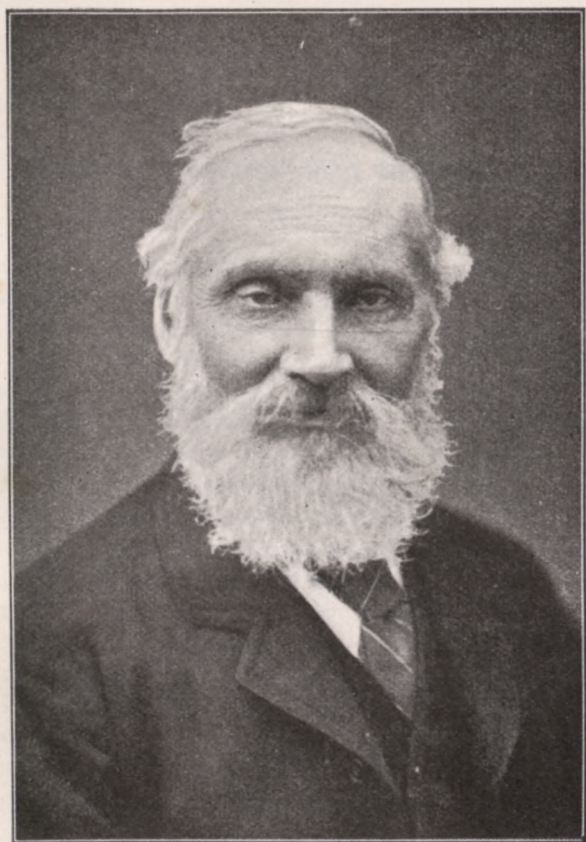
UWAGI.

¹⁾ (Str. 292) Odpowiedni ustęp pracy Thomson'a brzmi, jak następuje:

„Gdy czynnik cieplny jest tym sposobem zużyty na przewodzenie ciepła przez ciało stałe, co się staje z działaniem mechanicznem, które on może wytworzyć? Nic nie może zginąć w procesach natury — energia nie może być zniszczona. Jaki więc skutek jest wytworzony na miejsce straconego działania mechanicznego? Doskonała teoria ciepła kategorycznie wymaga odpowiedzi na to pytanie; nie możemy jednak dać jej w obecnym stanie nauki. Kilka lat temu podobne wyznanie musiałyby być uczynione w stosunku do działania mechanicznego, straconego w cieczach, wprawionych w ruch wewnątrz sztywnego zamkniętego naczynia i doprowadzonych przez swe tarcie wewnętrzne do spoczynku; ale w tym wypadku podstawa do rozwiązania tej trudności jest obecnie znaleziona w odkryciu p. Joule'a, że ciepło jest wytwarzane przez tarcie wewnętrzne cieczy w ruchu. Zachęceni tym przykładem, mamy nadzieję, że to pełne wątpliwości zagadnienie teorii ciepła, które nas obecnie zatrzymuje, będzie niedługo wyjaśnione.

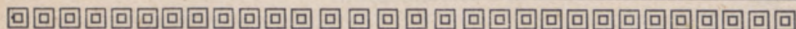
Mogłoby się wydawać, że trudności tej uniknęłoby się zupełnie przez porzucenie zasadniczego pewnika Carnot'a; pogląd, który jest silny popierany przez p. Joule'a... Gdybyśmy jednak tak postąpili, napotkalibyśmy inne niezliczone trudności — nie do przewyciężenia bez dalszych badań doświadczalnych i bez całkowitej przebudowy od postaw teorii ciepła. Istotnie musimy zwrócić uwagę na doświadczenie — albo dla sprawdzenia pewnika Carnot'a i dla wyrównania trudności, któreśmy rozważali, lub dla zupełnie nowego ugruntowania teorii ciepła“. (Cytata wzięta z E. Mach'a „Principien der Wärmelehre“ str. 271).

²⁾ (Str. 299) W tym ustępie Clausius po raz pierwszy opiera się na założeniu, które później opracował obszerniej „że ciepło nie może bez kompensaty przejść z ciała zimniejszego do cieplejszego“.



WILLIAM THOMSON (LORD KELVIN).





William Thomson, lord Kelvin.

(1824—1907).

Thomson (William, lord Kelvin, ur. d. 26 czerwca 1824 r., um. 17 grudnia 1907 r.), jest jedną z najbardziej imponujących postaci między fizykami 19-go stulecia. Studya uniwersyteckie w Glasgow'ie, które odbywał pod kierunkiem ojca, podówczas profesora matematyki w tymże uniwersytecie, następnie pobyt we Francyi, gdzie czas jakiś, dopóki nie powołano go w 1846 r. na katedrę fizyki w Glasgowie, pracował w laboratorium Regnault'a, w niesłychanie szczęśliwy dla nauki sposób nadały pracom jego i myślom podwójny odcień. Z jednej strony po całym szeregu sławnych angielskich uczonych Green'ie, Hamilton'ie, Faraday'u odziedziczył on niechęć do wszelkich nieusprawiedliwionych potrzebą hipotez, poczucie konieczności łączenia zagadnień praktycznych z teoretycznymi*), niestracenia ani na chwilę z oczu faktów doświadczalnych; z drugiej strony pisma wielkich francuskich matematyków Laplace'a, Fourier'a, Fresnel'a myślom jego nadały zwiększoną jasność, przejrzystość i pomogły mu do wyrobienia tej niezwykłej zdolności, o której z podziwem wyrażał się Helmholtz, ujmowania wszystkich faktów w równania matematyczne.

*) „Nie można popełnić większego błędu, jak lekce sobie ważyć zastosowania praktyczne nauki. Zastosowania te są duszą i życiem nauki i podobnie, jak wielkie postępy nauk matematycznych, były wywołane potrzebą rozwiązania zagadnień o wielkim znaczeniu praktycznym, tak samo większość najważniejszych odkryć w naukach fizycznych, od chwili ich powstania, aż do dziś dnia, musimy przypisać silnej dążności zastosowania znajomości własności materji do czegoś, coby mogło być pożytecznym dla ludzkości“. („Electrical Units of Measurements“, tłum. z przekładu francuzkiego „Les unités électriques de mesure“, traduit par Gustave Richard, Paris. Gauthier-Villars, 1884, str. 9—10).

Ta podwójna cecha jego umysłu zaznacza się już w pierwszych jego pracach: w 1841 r., będąc 17-letnim chłopcem, ogłasza szereg krótkich notatek, poświęconych rozbirowi równania Fouriera. Równanie to, będące wyrażeniem praw przewodnictwa cieplnego, Thomson stosuje wkrótce do zagadnienia konkretnego, do obliczenia „wieku ziemi“, to znaczy czasu, który upłynął od chwili jej zestalenia, od chwili więc, kiedy wielkie źródła energii cieplnej przestały być czynne i kiedy stan cieplny różnych części ziemi zaczął zależeć li-tylko od przewodnictwa. Zagadnienie to, dużej wagi dla geologii, przez długie lata zajmowało Thomson'a. W 1858 roku organizuje on badania temperatur wnętrza ziemi dla wyznaczenia spadu temperatury („gradientu“); w 1862 r. rozpoczyna polemikę z geologami, których obliczenia były w sprzeczności z jego obliczeniami. Polemika ta, trwająca do roku 1878, nie rozstrzygnięta bynajmniej zagadnienia, na które odkrycie radu rzuciło obecnie zupełnie nowe światło.

Z drugiej strony badanie przewodnictwa cieplnego naprowadziło go na ślad pracy Carnota. Podczas pobytu w Paryżu szukał on gorliwie oryginalnego wydania „Uwag o potędze poruszającej ognia“, bez powodzenia jednak. O swej niefortunnej odysei opowiada w artykule o rozpraszaniu energii, ogłoszonym w 1892 r., w sposób następujący:

„Wchodziłem do wszystkich księgarzy, których mogłem znaleźć, prosząc o „potęgę poruszającą ognia“ przez Carnota. „Caino? Nie znam tego autora“. Z wielkim trudem starałem się wytłumaczyć, że chciałem wymówić *r*, a nie *z*. „Ah! Ca-rrr-not! oto jego praca“. I pokazywano mi jakąś książkę o kwestyi społecznej przez Hipolita Carnota (młodszego brata Sadi), ale „potęga poruszająca ognia“ była zupełnie nieznaną“.

Wreszcie w 1849 r. otrzymał od jednego z kolegów oryginał broszury Carnota, którą, jak inni fizycy, znał dotychczas z opracowań Clapeyron'a. Wtedy (właściwie już w 1848 r.) rozpoczęła się jego działalność na polu termodynamiki, o czym już wyżej było wspomniane (patrz str. 287). W tej dziedzinie umysł Thomson'a wyraźnie wykazał swoją odrębność. Gdy Clausius np. jest, bądź co bądź, zasuggestywowany mechaniczną teorią ciepła i z niej czyni podstawę nauki o cieple, Rankine zbytecznie zaciemnia swoje cenne uwagi dość niejasnymi hipotezami o budowie

materyi, Helmholtz jak w pierwszej swej pracy, tak i w późniejszych, stara się sprowadzić obiedwie zasady do ogólnych zasad mechaniki, Thomson odrzuca wszelkie hipotezy pomocnicze, staje na gruncie faktów i na nich jedynie opiera swoje twierdzenia. Lata 1851 i 52 były w twórczości Thomson'a wyjątkowo płodnymi. Oprócz podstawowych prac z termodynamiki, wtedy też ukazały się pierwsze prace, dotyczące elektryczności, które wkrótce miały uczynić sławnym nazwisko Thomson'a. Do badań tych po części skłoniło go zagadnienie czysto praktyczne, które w owym czasie zajmowało umysły inżynierów i przemysłowców. Chodziło o założenie linii telegrafu podmorskiego między Irlandią i Stanami Zjednoczonymi. Przedsięwzięcie to nastęrczało wiele trudności: przedewszystkiem niezwykła długość kabli nasuwała pewne wątpliwości co do prędkości, z jaką będą się w nich rozchodziły sygnały elektryczne, następnie dużo kłopotu sprawiał wybór materiału zarówno przewodnika, jak i izolatorów, nie był też zupełnie opracowany sposób zanurzania kabli w oceanie. W listach pisanych do Stokes'a w 1854 r. Thomson wyłożył teorię rozchodzenia się oddzielnych sygnałów elektrycznych. Listy te zwróciły na niego uwagę i spowodowały, że zarząd T-wa telegrafu podmorskiego powierzył mu obowiązki doradcy technicznego. Thomson z zapałem oddał się swej nowej pracy; po wielu wysiłkach, po dwukrotnem rozerwaniu się kabla (w 1857 i 1858) doprowadzono wreszcie w 1866 roku całe przedsięwzięcie do końca. W pierwszej depeszy, przesłanej przez prezydenta Stanów Zjednoczonych, był oddany hołd zasłudze Thomson'a. Od tego czasu kula ziemską została opasana siecią kabli, tak że w 1896 roku podczas jubileuszu Thomson'a depesza z życzeniami, wysłana z Glasgowa przez administrację angielskiego telegrafu podmorskiego, mogła już obiedz dookoła całą ziemię i wrócić po upływie siedmiu i pół minut z powrotem do Glasgow'a.

W tym okresie czasu powstały prace jego nad budową przyrządów do pomiarów elektrycznych. Wtedy zostały obmyślane i zbudowane: elektrometr bezwzględny, elektrometr kwadrantowy, galwanometr zwierciadłowy o ruchomym magnesie i wreszcie elektrometr „kieszonkowy“, do którego zbudowania przyczynił się poniekąd przyjaciel jego i kolega Tait. Sprawa się miała w ten sposób. Thomson zbudował elektrometr, który ważył nie więcej, niż 2 kg.

„Pewnego dnia, opowiada Thomson w swoich „Odczytach o pomiarach elektrycznych“, pokazywałem go z dumą

profesorowi Tait'owi i powiedziałem mu: „Powinien pan wystarać się o podobny elektrometr“. — „Poczekam, odpowiedział mi Tait, aż pan zrobi taki elektrometr, któryby można włożyć do kieszeni; niech go pan zrobi wielkości pomarańczy, a wezmę go.“

Thomson przyjął wezwanie, i tym sposobem powstał ów elektrometr.

Prace nad temi zagadnieniami przekonały go o konieczności wprowadzenia jakiegoś ładu do układu jednostek elektrycznych, podówczas używanych. System metryczny, z którym się w czasie pobytu w Paryżu zetknął, zachęcił go do oparcia na podobnych zasadach układu jednostek elektrycznych. W 1861 r. dzięki jego staraniom powstała przy „British Association“ komisya, mająca na celu opracowanie układu bezwzględnych jednostek elektrycznych. Prace tej komisji zostały w 1881 r. przedstawione komisji międzynarodowej, zwołanej do Paryża. Prace międzynarodowej komisji początkowo nie szły gładko, głównie z powodu opozycji Werner'a Siemens'a, który chciał aby za jednostkę oporu przyjąć jednostkę zupełnie dowolną t. zw. jednostkę Siemens'a. Kiedy zdawało się, że prace komisji spełzną na niczem, Thomson wystąpił w roli pośrednika. Na prywatnem zebraniu w numerze hotelowym, zajmowanym przez Thomson'a i jego żonę, obecni tam przedstawiciele Anglii: Thomson i William Siemens, Niemiec: Helmholtz, Clausius, Kirchhoff i Wiedemann oraz Francji: Mascart zdołali przełamać opór Wernera Siemens'a i skłonić go do przyjęcia obowiązujących nas obecnie określeń ohma i wolta. Pozostawały jeszcze jednostki natężenia prądu, ilości elektryczności i pojemności elektrycznej. Ponieważ czas naglił, a posiedzenia komisji były chwilowo zawieszane na znak żałoby po śmierci prezydenta Stanów Zjednoczonych Garfield'a, zebrano się w mniejszym już towarzystwie w kawiarni, i tam Thomson, Helmholtz i Mascart opracowali dokładne określenie ampera, kulomba i farada.

Jednocześnie z temi pracami o charakterze poniekąd praktycznym Thomson opracował metodę t. zw. obrazów elektrycznych, pozwalającą w sposób bardzo prosty i jasny, rozwiązywać zagadnienie rozmieszczenia nabojów elektrycznych w danem polu elektrycznym.

Zakładanie kabli telegrafu podmorskiego i związane z tem zajęcia Thomson'a zmuszały go do częstego przebywania na

morzu. Żywy umysł jego napotkał szereg nowych zagadnień, do których rozwiązania zabrał się z całą energią. W ten sposób powstały prace z hydrodynamiki, gałęzi wiedzy, którą Thomson znał doskonale dzięki znakomitym wykładom Stokes'a, na które pilnie uczył się, i dzięki osobistym przyjacielskim stosunkom, jakie go ze Stokes'em łączyły. Zajmując się badaniem ruchu fal na oceanie, Thomson zbudował przyrząd do analizy składowych harmonicznym peryodycznym ruchów morza.

W związku z temi jego pracami znajduje się słynna jego teoria budowy materii. W 1858 roku ukazała się praca Helmholtz'a, udowadniająca, że w płynie, nie posiadającym lepkości, wir, który raz powstał, trwa wiecznie. Thomson użył w 1867 r. tego twierdzenia do wprowadzenia pewnych poprawek do analogicznej teorii Rankine'a i zbudował teorię wirów atomowych, teorię spójną, wytrzymującą najsurowszą krytykę.

Do tych niepospolitych zalet umysłu dołączały się jeszcze niezwykłe zalety serca. Wrodzona uprzejmość i dobroć przywiązywały do niego wszystkich, którzy się z nim stykali. Brak jakiegokolwiek zawiści zawodowej i ogromne umiłowanie wiedzy sprawiały, że każdy nowy wynalazek, każdy tryumf naukowy człowieka zupełnie mu obcego przejmowały go najżywszą radością. Takiej radości, ostatniej w swem pięknym życiu, doznał, dowiedziawszy się o odkryciu radu.

Dostojna postać Williama Thomson'a raz na zawsze utrwaliła się na kartach historii nauki.

O dynamicznej teorii ciepła wraz z wynikami liczbowymi, wyprowadzonymi z równoważnika jednostki cieplnej p. Joule'a i z obserwacji nad parą p. Regnault'a *).

(Transactions of the Royal society of Edinburgh, Marzec 1851; Philosophical Magazine, IV, 1852).

Podstawowe zasady teorii potęgi poruszającej ciepła.

7) Zgodnie z oczywistą zasadą, wprowadzoną jednak po raz pierwszy do teorii potęgi poruszającej ciepła przez Carnot'a, nie można uważać, iż działanie mechaniczne, wytworzone w jakimkolwiek procesie, pochodzi ze źródła czysto cieplnego, o ile przy końcu procesu wszystkie użyte materiały nie znajdują się dokładnie w tych samych warunkach fizycznych i mechanicznych, w jakich były na początku. W pewnych łatwo zrozumiałych „maszynach termo-dynamicznych“, jak np. w wirującym magnesie Faraday'a lub w kole Barlow'a¹⁾, zbudowanych w ten sposób, iżby się jednostajnie obracały i wykonywały pracę przy pomocy prądu nieustannie wzbudzanego przez ciepło, udzie-

*) „On the dynamical theory of heat with numerical results deduced from Mr. Joule's equivalent of a thermal unit and M. Regnault's observations on steam“. Tłómaczone z przedruku w wydawnictwie „Harper's scientific Memoirs“, — tom pod tyt. „The second law of Thermodynamics“, translated and edited by W. F. Magie, ph. d., professor of physics in Princeton University. New York - Cincinnati - Chicago American Book Company.

lane dwu stykającym się metalom²)..., warunek ten jest w każdej chwili spełniony. Z drugiej strony, we wszystkich maszynach termodynamicznych, opartych na działaniu elektryczności, w których używa się przerywanych prądów galwanicznych lub kawałków miękkiego żelaza o zmiennem namagnesowaniu, i we wszystkich maszynach, opartych na zachodzącem kolejno rozszerzaniu się i kurczeniu się ośrodka, zachodzą istotne zmiany w warunkach, w jakich znajduje się użyty materiał; otóż, stosownie do wyżej postawionej zasady, zmiany te muszą być ściśle peryodyczne. W jakiegokolwiek maszynie tego rodzaju szereg ruchów, wykonanych podczas okresu, w końcu którego materiały znalazły się w tych samych warunkach, w jakich znajdowały się na początku, tworzy to, co nazywać będziemy kołowym obiegiem przemian. Za każdym razem, gdy w niżej podanych ustępach jest mowa bez bliższego określenia o pracy wytworzonej lub działaniu mechanicznem, wykonanem przez maszynę termodynamiczną, należy rozumieć, że działanie mechaniczne uważamy za wytworzone albo w niezmieniającej się maszynie albo w całkowitym obiegu kołowym, albo w pewnej ilości całkowitych obiegów maszyny peryodycznej.

8) Za źródło ciepła będziemy zawsze uważali ciało ciepłe, o oznaczonej stałej temperaturze, wprowadzone w zetknięcie z jakąś częścią maszyny; a gdy jakaś część maszyny ma być zabezpieczona od wzrostu temperatury (co może zająć jedynie wtedy, gdy jej odbieramy to ciepło, które byłoby udzielane), to będziemy przypuszczali, żeśmy zdołali to osiągnąć przez wprowadzenie jej w zetknięcie z ciałem zimnem, które będziemy nazywali chłodnicą, o oznaczonej stałej temperaturze.

9) Cała teoria potęgi poruszającej ciepła jest oparta na dwu następujących twierdzeniach, które zawdzięczamy Joule'owi oraz Carnot'owi i Clausius'owi:

Twierdzenie I. (Joule). Gdy równe ilości działania mechanicznego są jakimkolwiek sposobem wytwarzane przez źródła czysto cieplne lub zużywane na działania czysto cieplne, równe ilości ciepła są niszczone lub wytwarzane.

Twierdzenie II. (Carnot i Clausius). Gdybyśmy mieli taką maszynę, że podczas jej działania w kierunku odwrotnym czynniki fizyczne i mechaniczne w każdej części jej ruchu byłyby całkowicie odwrócone, to wtedy wykonałaby ona takie same działanie mechaniczne, jakie wytworzyłaby z danej ilości ciepła jakakolwiek maszyna termodynamiczna, o tej samej temperaturze źródła i chłodnicy³⁾.

10) Poprzednie twierdzenie należy włączyć do ogólnej „zasady mechanicznego działania“; jest ono bezsprzecznie stwierdzone przez dowodzenia następujące:

11) Niezależnie od tego, na mocy jakiego działania bezpośredniego wyznaczmy ciepło uzyskane lub stracone przez dane ciało w jakichkolwiek warunkach, zawsze jednak zmierzenie jego ilości będzie oparte na wyznaczeniu ilości jakiegoś ciała wzorcowego, w którym to ciepło lub jakakolwiek równa mu ilość ciepła może wywołać wzrost temperatury od temperatury przyjętej za zasadniczą do innej; wynika to stąd, że dowodem równości dwu ilości ciepła jest ich zdolność wywoływania wzrostu temperatury równych ilości jakiejkolwiek substancji od dowolnej temperatury do tej samej wyższej temperatury.

Według zaś dynamicznej teorii ciepła, temperatura substancji może wzrosnąć jedynie dzięki wykonywaniu na niej pracy w ten sposób, iż praca wytwarza w niej wzmożone ruchy cieplne i wywołuje jednocześnie we wzajemnych odległościach lub w układzie cząstek substancji pewne zmiany, które mogą towarzyszyć zmianie temperatury. Praca konieczna dla wytworzenia tego całkowitego mechanicznego działania jest, rzecz prosta, proporcjonalna do ilości substancji, której temperatura podnosi się od pewnej temperatury zasadniczej do innej; a zatem, gdy ciało lub grupa ciał, lub maszyna oddaje lub pobiera ciepło, to wtedy istotnie ciało wytwarza lub pobiera działanie mechaniczne, o wielkości dokładnie proporcjonalnej do ilości ciepła, wysyłanej lub pochłanianej przez ciało. Lecz praca, która jest na niem wykonywana przez siły zewnętrzne, praca, wytworzona przez jego własne siły cząsteczkowe i cała suma, pochodząca ze

zmniejszenia połowy $vis\ viva$ ruchów cieplnych wszystkich jego części, musi ogółem równać się działaniu mechanicznemu, wytworzonemu przez ciało, a co zatem idzie, — mechanicznemu równoważnikowi ciepła, które ono wysyła (to ciepło będzie dodatnie lub ujemne odpowiednio do tego, czy suma tych wyrazów jest dodatnia lub ujemna). Niech teraz w żadnej części ciała nie zachodzi zmiana cząsteczkowa ani zmiana temperatury, lub też przypuśćmy, że dzięki kołowemu obiegowi przemian temperatura i warunki fizyczne powrócą do stanu pierwotnego, wówczas znika druga i trzecia z trzech części pracy, którą ciało ma wytworzyć, i dochodzimy przeto do wniosku, że ciepło, które ciało wysyła lub pochłania, będzie równoważnikiem cieplnym pracy, wykonanej na niem przez siły zewnętrzne lub wykonanej przez ciało przeciwko siłom zewnętrznym, co jest twierdzeniem, które mieliśmy udowodnić.

12) Dowód twierdzenia drugiego jest oparty na następującym wyniku:

Jest rzeczą niemożliwą wytworzyć przy pomocy nieożywionych czynników materialnych działanie mechaniczne jakiejkolwiek cząstki materji przez oziębienie jej poniżej temperatury najzimniejszego z otaczających ją przedmiotów*⁴).

14) Twierdzenie to było po raz pierwszy wypowiedziane przez Carnot'a, jako wyraz probierza doskonałej maszyny termodynamicznej**). Udowodnił je, wykazując, że zaprzeczenie tego twierdzenia pociągałoby za sobą przypuszczenie możliwości zbudowania samodiałającej maszyny,

*) Jeżeliby ten pewnik nie obowiązywał przy wszystkich temperaturach, to możnaby przypuścić, że samodiałająca maszyna mogłaby być użyta do pracy i do wytwarzania działania mechanicznego przez oziębienie morza lub ziemi, przyczem jedyną granicą byłaby całkowita utrata ciepła przez morze lub ziemię albo w rzeczywistości przez cały świat materialny.

***) „Account of Carnot's Theory". § 13.

któraby nieograniczenie wytwarzała działanie mechaniczne, ani nie posiłkując się jakimkolwiek źródłem ciepła, ani nie zużywając materiałów, ani też nie posiłkując się jakimkolwiek innym czynnikiem fizycznym; to dowodzenie zawiera jednak zasadnicze założenie, że „w całkowitym obiegu kołowym przemian“ ciało czynne wydziela taką samą ilość ciepła, jaką pobiera. Bardzo wymowne wyrażenie powątpiewania o prawdziwości tego założenia dał sam Carnot*); możemy je z całą pewnością (jak to starałem się wyżej wykazać) uważać za fałszywe tam, gdzie w przemianach praca mechaniczna jest naogół bądź otrzymywana bądź zużywana. Musimy tedy uznać, że oryginalne dowodzenie Carnot'a całkowicie upada, lecz nie możemy wyciągać wniosku, że twierdzenie z niego wypływające jest fałszywe. Słuszność tego wniosku wydawała mi się istotnie tak prawdopodobną, że wzięłem go w związku z zasadą Joule'a... za podstawę do badań nad potęgą poruszającą ciepła w maszynach powietrznych lub parowych.

15) Całkowita teoria potęgi poruszającej ciepła polegałaby na zastosowaniu wyżej udowodnionych dwu twierdzeń do każdej możliwej metody wytwarzania działania mechanicznego z czynnika cieplnego**). Próbiez doskonałej maszyny, wyrażony w twierdzeniu drugim, nie został jeszcze zastosowany do metody elektrycznej i prawdopodobnie nie będzie mógł być zastosowany bez pewnych ograniczeń; lecz zastosowanie pierwszego twierdzenia było istotnie całkowicie zbadane i doświadczalnie sprawdzone przez P. Joule'a w jego badaniach „O działaniach cieplnych magnetoelektryczności“; i na tem jest oparty jeden z jego

*) Ibidem § 16.

***) „Obecnie są znane dwa, i tylko dwa, różne sposoby, zapomoścą których możemy otrzymać z ciepła działanie mechaniczne. Jeden z nich jest urzeczywistniony przez zmiany objętości, których ciała doświadczają pod wpływem ciepła; drugi — za pośrednictwem działania elektrycznego“. „Account of Carnot's Theory“ § 4. (Transactions, vol. XVI, part. 5).

sposobów doświadczalnego wyznaczania mechanicznego równoważnika ciepła. Wynika tedy z jego odkrycia praw wytwarzania się ciepła w obwodzie galwanicznym^{*)}, że, gdy praca mechaniczna jest przy pośrednictwie maszyny magneto-elektrycznej źródłem galwanizmu, ciepło wytwarzane w jakiegokolwiek danej nieruchomej części obwodu jest proporcjonalne do całej pracy wydatkowanej. Prócz tego znalazł on doświadczalnie, że ciepło wytwarza się w każdej poruszającej się części obwodu i posiada tę samą wartość, jaką posiadałoby, gdyby ta część obwodu była w spoczynku i gdyby przechodził przez nią prąd o tem samym natężeniu; to daje mu możliwość postawienia następujących wniosków:

I) Że ciepło może być stworzone przez poruszanie maszyny magneto-elektrycznej;

II) że jeżeli prądu wzbudzonego używamy tylko do wytwarzania działania cieplnego, całkowita ilość wytworzonego ciepła jest we wszystkich warunkach dokładnie proporcjonalna do ilości pracy wydatkowanej.

18) Rodzaj działań cieplnych, wywołanych przez jednakowe przyczyny bardzo różnymi środkami, jest pięknie zobrazowany w następującym przykładzie, wziętym z pracy p. Joule'a o magneto-elektryczności. Weźmy trzy równe i podobne baterye galwaniczne, o równych i podobnych elektrodach i niech A_1 i B_1 będą końcówkami elektrod (lub drutami, połączonymi z dwoma biegunami) pierwszej bateryi; A_2 i B_2 — końcówkami odpowiednich elektrod drugiej, i A_3 i B_3 — trzeciej bateryi. Przypuśćmy, że A_1 i B_1 są połączone z końcami długiego, nieruchomego drutu; A_2 i B_2 są połączone z „biegunami“ przyrządu elektrolitycznego, służącego do rozkładu wody; i A_3 , B_3 są połączone z biegunami... maszyny elektromagnetycznej. Jeżeli teraz

^{*)} Że ciepło, wywiązujące się przez dany przeciąg czasu w danej nieruchomej części obwodu, jest proporcjonalne do kwadratu natężenia prądu, a dla różnych nieruchomych części, o tem samym natężeniu prądu, ilości ciepła, wywiązującego się w jednakowym przeciągu czasu, są w takim stosunku, jak opory...

długość drutu między A_1 i B_1 i prędkość maszyny między A_3 i B_3 będą tak dobrane, że natężenie prądu, (który gwoli prostoty uważać możemy za ciągły i doskonale jednostajny w każdym wypadku) może być takim samym w trzech obwodach, to wtedy przez dowolny przeciąg czasu w drucie między A_1 i B_1 wywiąże się więcej ciepła, niż w elektrolitycznym przyrządzie między A_2 i B_2 , lub w maszynie pracującej między A_3 i B_3 . Ale, gdybyśmy spalili wodór w tlenie wewnątrz naczynia elektrolitycznego oraz zużyli całą pracę maszyny li-tylko na wytworzenie działania cieplnego (co zaszłoby, naprzykład, jeżelibyśmy całą jej pracę zużyli na bezustanne poruszanie ograniczonej masy cieczy), to wtedy całkowite ciepło wydzielone będzie w każdym z dwu przyrządów dokładnie takim samym, jak i w drucie między A_1 i B_1 . Jest godnem uwagi, że twierdzenia te są ściśle prawdziwe, jako wnioski, które możemy wyprowadzić z podstawowej teorii ciepła, która była odkryta przez Joule'a, i zobrazowana oraz sprawdzona z największą starannością w jego licznych badaniach doświadczalnych.

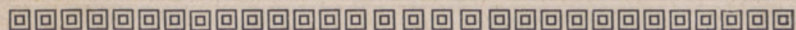
UWAGI.

¹⁾ (Str. 306) Patrz A. Witkowski, Zasady fizyki. Tom 3. 1912, str. 502 i 504.

²⁾ (Str. 306) Patrz A. Witkowski, Zasady fizyki. Tom 3. 1912, str. 344.

³⁾ (Str. 308) Twierdzenie drugie należałoby raczej wyrazić w ten sposób: Praca, wykonana przy użyciu danej ilości ciepła przez maszynę odwracalną (doskonałą, jak ją za Carnot'em nazywa Thomson) zależy jedynie od temperatury źródła i chłodnicy.

⁴⁾ (Str. 309) Pewnik ten stosuje się do układów odosobnionych. Pewnik Thomson'a formą tylko różni się od pewnika Clausius'a.



SKRAPLANIE GAZÓW.

Thomas Andrews.

(1818—1889).

Istnienie ściślej łączności między rozmaitymi stanami skupienia materji było pod postacią dowolnej zupełnie hipotezy wypowiedziane już w 18-ym wieku. W jednej z prac swoich Lavoisier wyraża się w sposób następujący:

„Gdyby ziemia znalazła się nagle w okolicach bardzo zimnych, naprzykład, w sąsiedztwie Jowisza lub Saturna, woda, która dzisiaj tworzy nasze rzeki i morza, i prawdopodobnie większą część znanych nam cieczy, zamieniłaby się w stałe góry i w bardzo twarde skały. Przy tem założeniu, powietrze lub przynajmniej część składających je substancji lotnych przestałaby bezwątpienia istnieć w stanie niewidzialnego płynu z braku dostatecznego stopnia ciepła: wróciłaby do stanu ciekłego, ta zaś zmiana wytworzyłaby nowe ciecze, o których nie mamy żadnego wyobrażenia“ *).

Ten jednak pogląd małe znajdował uzasadnienie w doświadczeniu. Prawda, że już w 1790 r. Van Marum, sprawdzając dla amoniaku prawo Boyle-Mariotte'a, stwierdził ku swemu zdumieniu, że w pewnej chwili doświadczenia gaz ten uległ skrople-

*) Cytata w tekście wzięta jest z książki Georges Claude'a „Air liquide, oxygène, azote“. Paryż 1909, str. 8.

niu; w kilka lat później Monge i Clouet otrzymali przez stosowne obniżenie temperatury ciekłej SO_2 pod ciśnieniem atmosferycznym.

Doświadczenia te jednak pozostały odosobnionymi aż do roku 1823, kiedy Faraday ogłosił pierwszą swą pracę o skraplaniu gazów. Metoda, jakiej używał, polegała głównie na zwiększaniu ciśnienia i na niewielkim stosunkowo ochłodzeniu gazu; tym sposobem skroplił on chlor, siarkowodór, chlorowodór, amoniak, bezwodnik węglowy i t. d.

Samo jednak powiększanie ciśnienia okazało się dla większości gazów niewystarczającym, to też w drugiej pracy, ogłoszonej w 1845 roku, Faraday stosuje już metodę nieco odmienną: Gaz silnie ściśnięty (do 40 atmosfer) oziębiał zapomocą mieszaniny stałego CO_2 i eteru, parujących pod zmniejszonym ciśnieniem. Ten sposób postępowania dał wyniki znacznie lepsze: Faraday'owi udało się skroplić wszystkie prawie podówczas znane gazy, za wyjątkiem sześciu: wodoru, tlenu, azotu, gazu błotnego (CH_4), tlenku azotu (NO) i tlenku węgla (CO), które, mimo obniżenia temperatury do $-110^\circ C$ i powiększeniu ciśnienia do 50 atm. nie zmieniły swego stanu skupienia.

Te niepowodzenia skłoniły fizyków do utworzenia z tych gazów odrębnej grupy gazów trwałych. Racyonalność takiej klasyfikacji zdawały się potwierdzać doświadczenia Berthelot'a (1850) i Natterer'a (1854), w których gazy były poddawane olbrzymim ciśnieniom (780 atm. w doświadczeniach Berthelot'a, około 2800 atm. w doświadczeniach Natterer'a). Na przyczynę niepowodzeń rzuciły jednak odmienne światło doświadczenia Cagniard de la Tour'a, wykonane znacznie wcześniej (w 1822 roku). Ogrzewając ciecze w naczyniach zamkniętych, Cagniard de la Tour zauważył, że w pewnej temperaturze ciecze te nagle zamieniały się w pary, nie o wiele zmieniając swą objętość, a więc, znajdując się pod bardzo wysokim ciśnieniem. Istotne znaczenie tego doświadczenia zostało należycie ocenione przez Faraday'a:

„Jest rzeczą prawdopodobną, pisze Faraday, że w tej temperaturze żadne zwiększone ciśnienie, chyba nadzwyczaj wielkie, nie może skroplić utworzonego gazu. Otóż, temperatura -110° leży dla wodoru, tlenu i azotu ponad tym stopniem, nie należy przeto oczekiwać, aby pod jakimkolwiek ciśnieniem — chyba pod takim, któremoby

towarzyszyło zimno o wiele jeszcze większe. niż to, które można było wytworzyć — można je było zmusić do zmiany swego stanu gazowego“ *).

Z drugiej strony badania własności cieczy w zależności od temperatury doprowadziły do bardzo ciekawych wyników. Drion dla ciekłego bezwodnika siarkowego, i Thilorier dla ciekłego bezwodnika węglowego znaleźli, że współczynnik rozszerzalności cieplnej tych cieczy wzrasta bardzo prędko ze wzrostem temperatury, dorównywując lub nawet przewyższając pod tym względem współczynnik rozszerzalności cieplnej gazów. Tak np. współczynnik rozszerzalności cieplnej ciekłego bezwodnika siarkowego (SO_2) wynosi w temperaturze 0° ... 0,001734, w temperaturze 130° ... 0,009571 (współczynnik rozszerzalności cieplnej gazów przeciętnie wynosi 0,0036).

To zacieranie się granicy między cieczami i gazami zostało uwydatnione jeszcze jaskrawiej przez pomiary ciepła utajonego parowania w rozmaitych temperaturach. Doświadczenia Regnault'a, a następnie Mendelejew'a wykazały, że ciepło utajone parowania zmniejsza się naogół ze wzrostem temperatury; w temperaturze, odpowiadającej nagłemu znikaniu cieczy w doświadczeniu Cagniard de la Tour'a, którą Mendelejew nazwał bezwzględną temperaturą wrzenia, wielkość ciepła utajonego zbliża się do zera.

Te wszystkie rozproszone fakty, oddzielne obserwacje i niesharmonizowane wnioski zostały ujęte w jedną spójną całość przez fizyka angielskiego Andrews'a w niżej podanej pracy.

Andrews wykazał, że powyżej pewnej temperatury, charakterystycznej dla danego gazu, nazwanej przez Andrews'a krytyczną, każdy gaz jest gazem trwałym. Niemożność więc skroplenia owych sześciu gazów była spowodowana niedostatecznym obniżeniem ich temperatury.

Praca Andrews'a potwierdziła zarazem hipotezę ciągłości stanu ciekłego i gazowego i wytykała drogę, na której można było otrzymać wszystkie gazy w stanie ciekłym.

Andrews (Thomas) ur. się w 1813 r. w Belfaście, umarł tamże w 1885 r. Kształcił się w Glasgow'ie, pracował następnie w Paryżu, w laboratorium Dumas'a, stopień doktora medycyny

*) Cytata w tekście wzięta z książki Georges Claude'a „Air liquide, oxygène, azote“. Paryż 1909, str. 47.

otrzymał w 1835 roku w uniwersytecie edynburskim. W 1845 roku został profesorem chemii w Belfaście i katedrę tę zajmował do 1879 roku. W 1855 r. ogłosił pracę, w której dowiódł, że ozon jest tlenem alotropowym. Badania nad gazami zaczął prowadzić od 1860 roku. Podaną niżej pracę ogłosił w 1869 r., w 1876 r. ogłosił jej uzupełnienie.

O ciągłości stanów materii gazowego i ciekłego.

(Philosoph. Trans. of Roy. Soc. of London. Vol. 159, 1869, str. 575—589 *).

W roku 1822 Cagniard de la Tour spostrzegł, że pewne ciecze, jak eter, alkohol, woda są przy nagrzewaniu w szczelnie zamkniętych rurach pozornie zamieniane w parę w objętości dwa do czterech razy większej od jej objętości początkowej. Wykonał on również kilka liczbowych wyznaczeń wywieranego wtedy ciśnienia **). W następnym roku udało się Faraday'owi zapomocą samego tylko ciśnienia zamienić w ciecz chlor i różne inne ciała, znane podówczas jedynie w postaci gazowej ***). W parę lat później Thilorier otrzymał stały bezwodnik węglowy i zauważył, że współczynnik rozszerzalności cieplnej ciekłego bezwodnika węglowego jest większy, niż jakiegokolwiek innego ciała gazowego ****). Druga rozprawa, ogłoszona przez Faradaya w 1845 roku, znacznie rozszerzała nasze wiadomości o działaniu zimna i ciśnienia na gazy *****). Regnault starannie badał bezwzględną zmianę objętości pewnych gazów, gdy są one poddane ciśnieniu 20 atmosfer; Pouillet też doko-

*) „On the Continuity of the Gaseous and Liquid States of Matter“. Tłómaczone z przekładu niemieckiego w „Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften“ №132.

**) Annales de chimie. Serya II, Tom XXI, str. 127 i 178, również tom XXII, str. 140.

***) Philosoph. Transact. 1823, str. 160—189.

****) Annales de Chimie, Serya II, Tom LX, str. 427 i 432.

*****) Philosoph. Transact. 1845, str. 155.

nał kilku doświadczeń w tym samym przedmiocie. Natterer posunął swoje doświadczenia aż do niesłychanego ciśnienia 2790 atmosfer, i chociaż metoda jego nie jest bez zarzutu, to jednak wyniki przez niego otrzymane, są bardzo cenne i zasługują na większą uwagę, niż to miało miejsce dotychczas*).

W 1861 r. ukazała się krótka notatka o niektórych moich wcześniejszych doświadczeniach w tym kierunku. Tlen, wodór, azot, tlenek węgla i tlenek azotu były poddane większym ciśnieniom, niż te, które osiągnano poprzednio w rurach szklanych, i były oziębiane przy pomocy bezwodnika węglowego i kąpieli z eteru. Żaden z tych gazów nie wykazywał najmniejszego śladu skroplenia, chociaż były one doprowadzane przez zespolone działania zimna i ciśnienia do objętości mniejszej, niż $\frac{1}{500}$ ich objętości zwykłej**). W trzecim wydaniu „Miller'a chemii fizycznej“ z roku 1863 ukazało się krótkie streszczenie, wzięte z listu mojego do Dra Miller'a, kilku nowych wyników, które otrzymałem dla bezwodnika węglowego przy pewnych określonych warunkach ciśnienia i temperatury. Ponieważ wyniki te stanowią podstawę obecnego badania i nigdy nie były oddzielnie ogłoszone, pozwalam sobie przeto przytoczyć tutaj następujący wyjątek z mojego pierwotnego komunikatu przesłanego D-rowi Miller'owi. Przy częściowem skropleniu bezwodnika węglowego zapomocą samego tylko ciśnienia i przy równoczesnym stopniowym podnoszeniu temperatury do 88° F. powierzchnia rozdziału między cieczą i gazem stawała się coraz słabszą, traciła swoją krzywiznę i w końcu całkowicie zniknęła. Przestrzeń była wtedy wypełniona jednorodną cieczą, która, gdy ciśnienie nagle się zmniejszyło lub gdy temperatura nieco opadała, przybierała szczególny wygląd który jej nadawały poruszające się i drgające w całej masie smugi. W temperaturach powyżej 88° F. nie można było otrzymać żadnego pozornego skroplenia bezwodnika węglowego.

*) Pogg. Annalen. Tom XCIV, str. 436.

***) Report of the British. Assoc. 1861. Transact. of Sections, str. 76.

wego lub rozdzielenia na dwa różne stany skupienia nawet, gdy było użyte ciśnienie od 300 do 400 atmosfer. Kwas azotawy dał analogiczne wyniki^{*)}.

Przyrząd, użyty do tych badań jest wyobrażony na rysunku. Fig. 37 i 38 wyobrażają go w prostej postaci, przy której tylko jeden gaz jest poddany ciśnieniu.... gaz, który ma być zgęszczony, wprowadzamy do rury *fa* (fig. 36), która

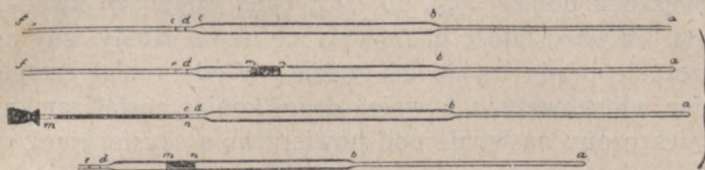


Fig. 36. Przygotowywanie rurki do badań nad skraplaniem CO_2 .

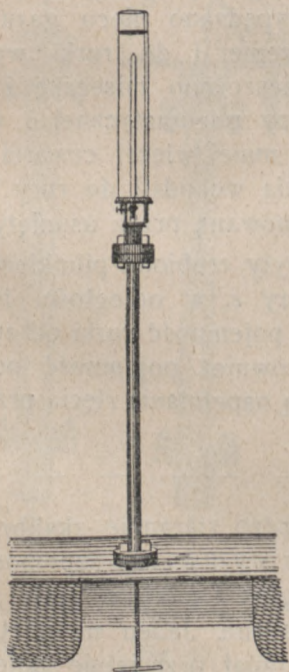


Fig. 37.



Fig. 38.

Przyrząd do stwierdzenia istnienia temperatury krytycznej CO_2 .

^{*)} Miller's Chemical Physics. Wyd. III, str. 328.

od *a* do *b* jest włoskowata.... starannie osuszany gaz jest przepędzany w ciągu wielu godzin przez rurę, otwartą na obydwu końcach.... Prąd ten był przepuszczany tak długo, dopóki pozostałość powietrza, po traktowaniu potasem żrącym, nie była doprowadzona do stałego minimum. Powtarzając badania, znalazłem, że w wybranym przezemnie złożonym przyrządzie, pozostałość powietrza nie mogła być zmniejszona poniżej $\frac{1}{500}$ do $\frac{1}{1000}$ całej objętości dwutlenku węgla. Ta pozostałość ukazywała się nawet wtedy, gdy przepuszczanie prądu trwało 24 godzin. Wtedy został zatopiony koniec włoskowaty *a*, również drugi koniec został zamknięty i umieszczony następnie pod powierzchnią czystej rtęci, znajdującej się w szklanej miseczce. Gdy niższy koniec rury znajdował się jeszcze pod powierzchnią rtęci, został on otworzony i przez ogrzanie wypędzano nieco gazu. Przy ochładzaniu następowało kurczenie, i do rurki wchodził krótki słupek rtęci. Wtedy umieszczono miseczkę i dolny koniec rury pod dzwonem pompy pneumatycznej i wytwarzano próżnię, dopóki nie uszła mniej więcej czwarta część gazu. Po przywróceniu ciśnienia wchodził do rury słupek rtęci i wypełniał przestrzeń, zajmowaną przez usunięty gaz....

Na węższym końcu rury były zrobione pilnikami dwie kreski, jedna przy *d*, druga przy *e*, w odległości 10 mm. jedna od drugiej; wyznaczałem pojemność rurki od znaczka, zrobionego przy *a*, do *d*, jak również pojemność od tego samego znaczka do *e*, zapomocą napełniania rtęcią przy znacznej temperaturze i ważenia.

Rurki włoskowate były bardzo starannie skalibrowane, i ich przeciętna pojemność była wyznaczona zapomocą ważenia słupka rtęci, którego długość i miejsce, jakie zajmował w rurce, były dokładnie badane. Jeden millimetr rury z powietrzem, użytej do badań, miał przeciętnie pojemność 0,00002477 cm³, a jeden milimetr rurki z bezwodnikiem węglowym — 0,00003376 cm³.

Dla większej jasności opisałem te zabiegi tak, jak gdyby one były wykonywane przy użyciu rurki, wziętej osobno. W rzeczywistości, rurka była umocowana w oprawie mosiężnej (fig. 43), zanim została napełniona gazem.

Budowa przyrządu, używanego do tych badań, jest łatwo zrozumiała z rysunku (fig. 39 i 40), na którym jest on przedstawiony w prostej postaci. Dwie masywne oprawy mosiężne były silnie umocowane na końcach bardzo mocnej

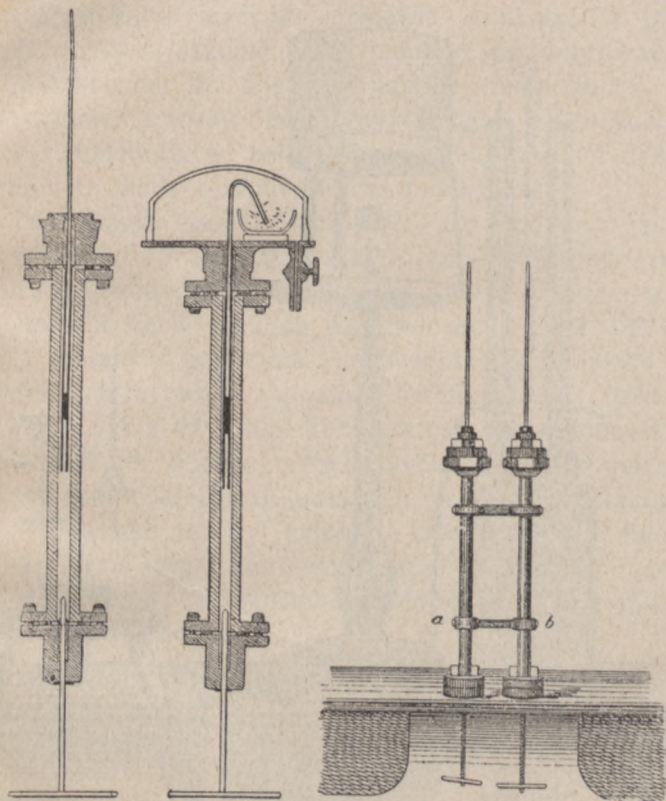


Fig. 39.

Fig. 40.

Fig. 41.

Przyrząd Andrews'a do badania ścisłości CO_2 .

rury miedzianej, wyciągniętej na zimno; przy ich pomocy mogły być na końcach rury miedzianej bezpiecznie zaśrubowane dwa mosiężne zakończenia; dwa skórzane pierścienie

wytwarzają szczelne połączenie. Dolne zakończenie (fig. 43) niesie stalową śrubę, długą na 180 mm., o grubości 4 mm. i o wysokości kroku 0,5 mm. Śruba jest starannie wyrznięta i łatwo wytrzymuje ciśnienie 400 i więcej atmosfer. Podobne zakończenie na górnej oprawie obejmuje rurę szklaną, zawierającą gaz, który ma być zgęszczony (fig. 43). Zanim przyrząd był zašrubowany, był on napełniony wodą, na którą wywiera ciśnienie przez wšrubowanie stalowej śruby.

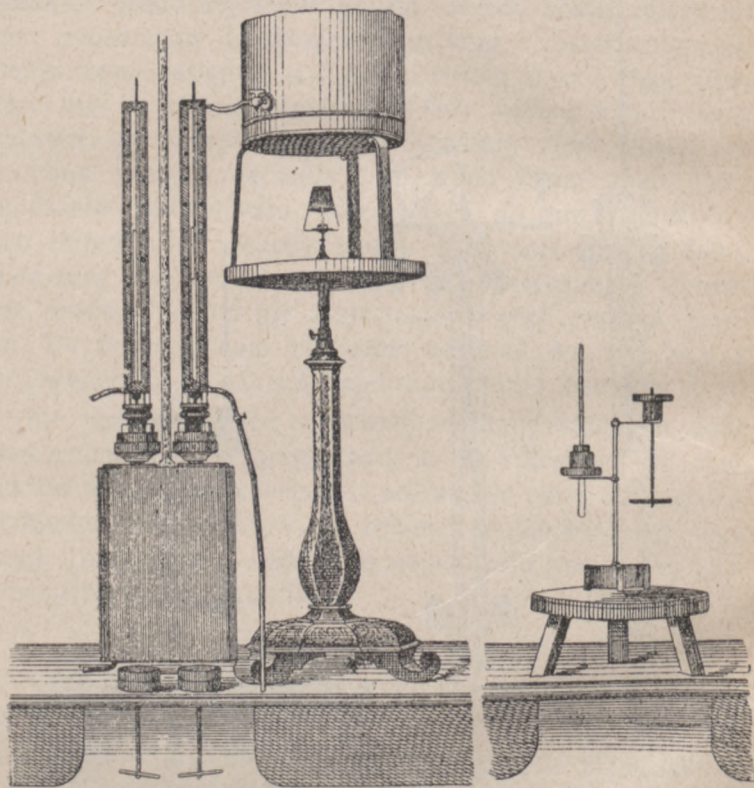


Fig. 42.

Przyrząd Andrews'a całkowicie złożony.

Fig. 43.

Obsada rurki i śruby.

W przyrządzie złożonym (fig. 41 i 42) wewnętrzne urządzenia są takie same, jak i w prostym. Pomiędzy obie-

dwiema częściami przyrządu jest urządzone połączenie (*ab*). Jest rzeczą obojętną, którą z dolnych śrub będziemy wkręcili, gdyż ciśnienie natychmiast rozejdzie się wewnątrz obydwu rur miedzianych i za pośrednictwem ruchomego słupka rtęci będzie wywierane na obydwie gazy, które mamy zgęścić.... Fig. 42 przedstawia ten sam przyrząd z urządzeniami, służącymi do utrzymania stałej temperatury rurek włoskowatych i całego przyrządu. Każdą rurkę włoskowatą otacza prostokątna skrzynka mosiężna, zamknięta z przodu i z tyłu płytkami szklanymi, co pozwala na doprowadzenie rurki włoskowatej do dowolnej żądanej temperatury zapomocą strumienia wody. Sam przyrząd jest, jak to widać na figurze, zamknięty w zewnętrznym naczyniu miedzianem, napełnionem wodą o temperaturze pokojowej....

Temperatura wody, otaczającej rurę z powietrzem, była o ile możliwości równa temperaturze pokojowej, podczas gdy temperatura wody, otaczającej rurę z bezwodnikiem węglowym, wahała się w różnych doświadczeniach od 13° C. do 48° C.... Objętości powietrza i bezwodnika węglowego były dokładnie odczytywane zapomocą katetometru, z dokładnością większą, niż 0,05 mm. Temperatura wody dookoła rury z bezwodnikiem węglowym była wyznaczana zapomocą termometru o dowolnej skali, dokładnie przezemnie skalibrowanego. Termometr ten był jednym z czterech, które zbudowałem przed paru laty i które tak dobrze się ze sobą zgadzały, że różnice w ich wskazaniach, sprowadzone do stopni, nie mają żadnego znaczenia.

Nie próbowałem z obserwowanych zmian objętości powietrza w rurce wyprowadzać odpowiednich ciśnień. Do tego byłoby rzeczą konieczną znać odchylenie powietrza od prawa Mariotte'a przy ciśnieniach, używanych w tych doświadczeniach, jak również zmiany objętości rurki włoskowatej, wywołane przez ciśnienie wewnętrzne.... Jest jednak rzeczą samą przez się zrozumiałą, że, gdy mówiłem czasem o ciśnieniach, jakie wykazywało pozorne skurczenie powietrza w rurce, zawsze miałem na myśli ciśnienia przybliżone.

δ	t	ε	t'	l
1	10,86	1	13 ^o ,09	38,5
50,15		462,9		
1	10,86	1	13 ^o ,09	37,8
50,38		471,5		
1	10,86	1	13 ^o ,09	37,1
54,56		480,4		
1	10,86	1	13 ^o ,09	35,6
75,61		500,7		
1	10,86	1	13 ^o ,09	34,9
90,43		510,7		

Gdyby bezwodnik węglowy był bezwzględnie czysty, część krzywej dla 13^o,11 (fig. 44), przedstawiająca przejście ze stanu gazowego w ciekły, byłaby, bezwątpienia, w całym swym przebiegu prosta i równoległa do linii równego ciśnienia.

Krzywa, przedstawiająca wyniki przy 21^o,5, zgodna jest naogół co do postaci z krzywą dla 13^o,1, co widać na figurze. Przy 13^o,1 pod ciśnieniem około 49 atm. objętość bezwodnika węglowego jest niewiele większa od $\frac{3}{5}$ objętości, jaką by w tych samych warunkach posiadał gaz trwały. Po skropleniu dwutlenek węgla silniej się sprzeciwia ścisłaniu, niż ciecze zwykłe, i ściśliwość zdaje się zmniejszać ze wzrostem ciśnienia. Silna rozszerzalność cieplna ciekłego bezwodnika węglowego była po raz pierwszy zauważona przez Thilorier'a, te zaś badania najzupełniej ją potwierdzają.

Następny szereg doświadczeń był wykonany przy 31^o,1, to zn. o 0^o,2 ponad punktem, przy którym bezwodnik węglowy jest w stanie dzięki zgęszczeniu jedynie przybrać widoczną postać cieczy. Od czasu, gdy w r. 1863 po raz pierwszy ogłosiłem ten fakt, wykonałem staranne badania w celu dokładnego wyznaczenia temperatury tego punktu krytycznego dla bezwodnika węglowego. W trzech doświadczeniach wypadło na nią 30^o,92 C. lub 87^o,7 F. Chociaż przy nieco większej liczbie stopni ponad tą temperaturą zachodził przy powiększaniu ciśnienia nagły spadek, gdy się doprowadzało

gaz do objętości, przy której należało się spodziewać jego skroplenia, to jednak nie rozpadał się on na dwa różne stany skupienia, przynajmniej działanie światła nie wykazało żadnych śladów takiego rozpadu. Gdy zmieniałem ciśnienie i temperaturę, przyczem jednak ta ostatnia zawsze była utrzymywana powyżej $30^{\circ},92$, wówczas wielkie zmiany gęstości, które powstawały w tym punkcie, wywoływały opisane już wyżej przeze mnie ruchy smug w wysokim stopniu podobne do zjawisk, zachodzących przy zmieszaniu dwu niejednakowo gęstych cieczy lub przy wznoszeniu się nagrzanego słupów powietrza poprzez warstwy zimniejsze. Łatwo można tak dobrać ciśnienie, żeby jedna połowa rurki była napełniona niezgęszczonym gazem, druga zaś zgęszczoną cieczą. Poniżej temperatury krytycznej rozpoznanie tego stanu ułatwia nam widzialna powierzchnia, odgraniczająca ciecz od gazu, oraz przesunięcie, jakiego doznaje na tej powierzchni obraz linii prostopadłej, znajdującej się z tyłu za rurką. Powyżej jednak $30^{\circ},92$ zjawiska te nie są już widoczne, i najstaranniejsze badanie nie jest w stanie wykryć żadnej niejednorodności bezwodnika węglowego, znajdującego się w rurce.

Graficzne przedstawienie tych doświadczeń na fig. 44 wykazuje godne uwagi odchylenia krzywych dla niższych temperatur. Kropkowane linie na figurze przedstawiają części krzywych gazu trwałego (mającego w 0° i pod ciśnieniem jednej atmosfery tę samą objętość, co bezwodnik węglowy) dla temperatur $13^{\circ},1$, $31^{\circ},1$ i $48^{\circ},1$. Objętość bezwodnika węglowego w temperaturze $31^{\circ},1$ zmniejsza się, jak widać, ze znośną prawidłowością, lecz prędzej, niż według prawa Boyle'a, dopóki ciśnienie nie dojdzie prawie do 73 atmosfer. Wtedy objętość zmniejsza się bardzo prędko, spada prawie do połowy, podczas gdy ciśnienie podnosi się od 73 do 75 atmosfer, to zn. tylko o $\frac{1}{37}$ ciśnienia całkowitego. Zmniejszenie nie jest jednak tak gwałtowne, jak przy tworzeniu się cieczy w niskich temperaturach, lecz dla wytworzenia go jest konieczny ciągły wzrost ciśnienia. Podczas tego zmniejszania na żadnym stopniu przemiany niema, jak

to już było wskazane, ani śladu istnienia w rurce dwu stanów skupienia.

Krzywa dla $32^{\circ},5$ (fig. 44) jest dokładnie podobna do krzywej dla $31^{\circ},1$. Spadek jej jest jednak o wiele mniej stromy, niż w tamtej temperaturze.... Krzywa dla $48^{\circ},1$ jest bardzo ciekawa. Spadek widoczny w krzywych dla niższych temperatur znikł, jeżeli nie całkowicie, to w znacznym stopniu. Jednocześnie kurczenie się jest o wiele większe, niż to, jakoby zachodziło, gdyby prawo Mariotte'a obowiązywało w tej temperaturze....

Przy temperaturach wyższych od $48^{\circ},1$ nie robiłem żadnych pomiarów; jest jednak jasnym, że w miarę, jak temperatura wzrasta, krzywe będą się nieustannie przybliżały do tych, które wyobrażają zmianę objętości gazu trwałego. Bez robienia dokładnych pomiarów poddawałem często bezwodnik węglowy ciśnieniom o wiele wyższym, niż podane w tabelicy, i przeprowadzałem go stopniowo ze stanu, który każdy uważa za gazowy, do stanu, który jest powszechnie uważany za ciekły.

Biorę np. daną objętość bezwodnika węglowego o 50° C. lub o wyższej temperaturze i poddaję ją ciśnieniu, wzrastającemu do 150 atmosfer. Wtedy objętość jego będzie się stale zmniejszała w miarę powiększania ciśnienia, i przy żadnej wartości ciśnienia nie nastąpi nagle zmniejszenie objętości, o ile nie będzie użyte zewnętrzne ciśnienie. Jeżeli, gdy jest już użyte całe ciśnienie, obniżymy temperaturę bezwodnika węglowego do zwykłej temperatury atmosfery, to podczas całej tej przemiany nie zajdzie żadna zmiana w ciągłości. Mamy na początku gaz, i po całym szeregu powolnych przemian, nigdzie nie wykazujących nagłego zmniejszenia się objętości lub raptownego wywiązywania się ciepła, kończymy na cieczy. Najstaranniejsze badanie nie może nigdzie znaleźć wskazówki, że bezwodnik węgla zmienił swój stan skupienia lub w jakimkolwiek okresie przemiany znajdował się częściowo w jednym, częściowo w drugim stanie fizycznym. Niktby się nie domyślił, że gaz istotnie zmienił się w ciecz,

gdyby tego nie można ujawnić przez wrzenie, które następuje po usunięciu ciśnienia. Dla dogodności podzieliliśmy tę przemianę na dwie części: zgęszczenie bezwodnika węglowego i następnie ochłodzenie. Obie te przemiany mogłyby być jednak wykonane jednocześnie, gdyby ciśnienie i ochłodzenie były tak regulowane, żeby przy ochłodzeniu bezwodnika węglowego do 31° , ciśnienie nigdy nie spadało poniżej 76 atmosfer¹⁾.

Jesteśmy obecnie przygotowani do rozważania następującego ważnego pytania: jaki jest stan bezwodnika węglowego, gdy w temperaturze powyżej 31° przechodzi ze stanu gazowego do objętości cieczy, nie wykazując w żadnym momencie oznak zachodzącego skroplenia? Czy pozostaje w stanie gazowym, czy też staje się ciekłym, czy wrzecie mamy tu do czynienia z nowym stanem skupienia. Gdyby doświadczenie było wykonane w temperaturze 100° lub wyższej, gdzie brakłoby wszystkich oznak zgęszczenia, to prawdopodobną byłaby odpowiedź, że gaz podczas zgęszczenia zachował swój stan gazowy; i niewiele osób wahałoby się uważać tę odpowiedź za słuszną, jeżeliby ciśnieniu były poddane, jak w doświadczeniach Natterer'a, gazy takie, jak wodór i azot. Z drugiej strony, ponieważ doświadczenie z bezwodnikiem węglowym było wykonywane przy temperaturze nieco wyższej od 31° , to większe przyciąganie wzajemne, które zjawia się w pewnym okresie przemiany, doprowadziłoby do mniemania, że istotnie zachodzi skroplenie, chociaż w żadnym momencie nie mogłaby być wykryta starannymi próbami optycznymi obecność cieczy w zetknięciu z gazem. Temu zaś pogładowi można postawić zarzut, oparty na mocnych podstawach, że fakt, iż do dalszego zmniejszania objętości ciągle jest potrzebne zwiększanie ciśnienia, jest w sprzeczności ze znanymi prawami, tyczącymi się przejścia ciał ze stanu gazowego do ciekłego. Im wyższa poza tem jest temperatura, przy której gaz jest zgęszczany, tem mniejsze jest wzajemne przyciąganie i w końcu znika zupełnie.

Z objaśnienia opisanych doświadczeń, które wydaje mi się słusznem, wypływa odpowiedź na postawione pytanie, a to przez wprowadzenie ścistych związków, jakie istnieją między stanem skupienia gazowym i ciekłym. Zwykły stan gazowy i zwykły stan ciekły są, krótko mówiąc, jedynie daleko od siebie odsuniętymi postaciami tego samego stanu i mogą przechodzić jeden w drugi przez szereg stopniowych przemian w ten sposób, że nigdzie w tem przejściu nie można zauważyć przerwy lub zakłócenia ciągłości; — od bezwodnika węglowego, jako zupełnego gazu, do bezwodnika węglowego, jako zupełnej cieczy, możemy przejść, jak widzimy, zapomocą procesu ciągłego; tak że gaz i ciecz są jedynie odległymi stopniami długiego szeregu ciągłych przemian fizycznych. Przy pewnych warunkach temperatury i ciśnienia znajduje się, co prawda, bezwodnik węglowy w stanie poniekąd niestałym, i bez dodatkowego użycia ciśnienia lub zmiany temperatury przybiera, wywiązując jednocześnie ciepło, taką objętość, do której mógłby dojść na znacznie dłuższej drodze. Przy nagłej zmianie, która tu zachodzi, zaznacza się podczas przebiegu procesu wyraźna różnica między optycznymi i pozostałymi własnościami fizycznymi tego bezwodnika węglowego, który jest doprowadzony do mniejszej objętości, i tego, który jeszcze zmianie żadnej nie uległ. W tym więc wypadku odróżnienie gazu od cieczy nie przedstawia żadnej trudności. W innych jednak wypadkach rozróżnienie to nie jest możliwe.

Wybitny fizyk Cagniard de la Tour wywnioskował na zasadzie swych doświadczeń, że ciecz znika i zamienia się w gaz. Drobną zmianą w jego doświadczeniach doprowadziłaby go do przeciwnego wniosku: że to, co było przedtem gazem, zamieniło się w ciecz. Jednem słowem, stany te są stanami przejściowymi, które przybiera materia, gdy przechodzi bez nagłej zmiany objętości lub nagłego wywiązania się ciepła ze stanu zwykłej cieczy do stanu zwykłego gazu.

Opisane w niniejszej pracy własności bezwodnika węglowego nie są jemu tylko właściwe, lecz spotykane są powszechnie we wszystkich ciałach, które mogą być otrzymane, jako gazy i jako ciecz. Tlenek azotu, amoniak, eter siarczany i siarczek węgla, wszystkie wykazują przy oznaczonych ciśnieniach i temperaturach punkty krytyczne i nagłe zmiany objętości ze smugami wzlatającymi do góry, gdy zmieniamy temperaturę lub ciśnienie w pobliżu tych punktów....

Odróżnianie pary i gazu było do dziś dnia oparte na dowolnych zasadach. Eter w stanie gazowym nazywamy parą, dwutlenek siarki zaś w tym samym stanie gazem; oby dwa są jednak parami, z których jedna pochodzi z cieczy, wrzącej przy 35° , druga zaś z cieczy, wrzącej przy -10° . Odróżnianie jest przeto uwarunkowane tą drobną okolicznością, że punkt wrzenia cieczy pod zwykłym ciśnieniem atmosferycznym leży wyżej lub niżej od zwykłej temperatury atmosfery. Podobne odróżnianie może mieć pewne praktyczne korzyści: pod względem naukowym jest ono bez wartości. Punkt krytyczny może służyć, jako cecha do odróżnienia par od gazów, jeżeli wogóle będziemy nadal uważali za rzecz ważną utrzymanie tego odróżnienia. Wiele własności par pochodzi stąd, że gaz i ciecz stykają się ze sobą, a to może zająć, jakżeśmy widzieli, jedynie w temperaturach poniżej punktu krytycznego. Możemy tedy powiedzieć: para jest to gaz w dowolnej temperaturze poniżej swego punktu krytycznego. Według tego określenia para może być zamieniona w ciecz przez samo tylko ciśnienie i może przeto istnieć w obecności swej własnej cieczy, podczas gdy gaz nie może być skroplony przez ciśnienie t. zn. nie może być tak zmieniony zapomocą ciśnienia, aby można było odróżnić ciecz, oddzieloną odeń widzialną powierzchnią. Według tego określenia bezwodnik węglowy poniżej 31° jest parą, powyżej 31° gazem, eter poniżej 200° parą, powyżej — gazem.

Jakżeśmy widzieli, stan gazowy i stan ciekły są jedynie oddalonymi od siebie stopniami jednego i tego samego stanu skupienia; mogą one przejść jeden w drugi w procesie o przemianach ciągłych. Pozostaje jeszcze do rozstrzygnię-

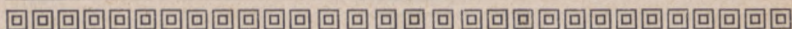
cia zagadnienie o wiele trudniejsze: możliwa ciągłość stanów skupienia ciekłego i stałego. Piękne odkrycie, dokonane przed paru laty przez Jamesa Thomsona i potwierdzone doświadczalnie przez Sir W. Thomsona²⁾, dotyczące wpływu ciśnienia na temperaturę, przy której zachodzi topnienie, wyznacza, według mnie, kierunek, w jakim muszą być prowadzone badania; przynajmniej dla tych ciał, które się przy topnieniu rozszerzają i dla których ciśnienie podnosi punkt topnienia, przejście takie jest wykonalne³⁾. To jednak musi być przedmiotem dalszych badań; obecnie nie ośmielam się przekraczać granic wniosku, opartego na badaniach bezpośrednich: że stany skupienia gazowy i ciekły mogą przechodzić jeden w drugi przez szereg ciągłych zmian.

UWAGI.

¹⁾ (Str. 328) Patrz A. Witkowski. Zasady fizyki. Tom 2. Wydanie drugie, str. 138.

²⁾ (Str. 331) Patrz str. 287.

³⁾ (Str. 331) Zagadnieniem tem zajął się w ostatnich czasach Tamm an. Doszedł on do wniosku, że jedynie kryształy posiadają stan skupienia wyraźnie różniący się od stanów ciekłego i gazowego. Patrz O. Chwolson. Kurs fizyki. Tom 3. Wydanie drugie. S. Petersburg. 1905, str. 452.



Zygmunt Florenty Wróblewski

(1845—1886).

Karol Stanisław Olszewski

(ur. 1846 r.).

Z pracy Andrews'a jasno wynikało, że dla skroplenia gazów trwałych nie dość jest poddać je ściśnieniu, lecz należy również obniżyć ich temperaturę poniżej temperatury krytycznej. Nie było to rzeczą łatwą, a to ze względu, że temperatura krytyczna gazów trwałych leży, jak to wykazały doświadczenia poprzednie, znacznie niżej od temperatur, które można było otrzymać zwykłymi sposobami. Prawda, że w termodynamice już od dość dawna znany był teoretycznie sposób otrzymywania znacznych obniżen temperatury przez poddawanie gazów rozprężaniu adiabatycznemu, sposób ten jednak, choć ujęty w ścisłe wzory, mało był podówczas stosowany w doświadczeniach. Nic też dziwnego, że pierwszy z uczonych, który po pracy Andrews'a przystąpił do badania gazów, Louis Cailletet, rozpoczynając swą pracę, nie miał najmniejszego zamiaru używać tego sposobu do otrzymywania niskich temperatur. Przyrząd jego, mający początkowo służyć jedynie do badania ściśliwości gazów, składał się z mocnego naczynia stalowego, napełnionego rtęcią; rtęć ta pod ciśnieniem wody w prasie hydraulicznej wchodziła do rurki szklanej, wypełnionej badanym gazem. Dzięki temu, że rurka ta w części, gdzie się znajdował gaz, była zwężona, można było bardzo łatwo poddawać gaz dużym ciśnieniom. Z boku przyrządu znajdował się kran, przez który można było usunąć wodę ciśnącą na rtęć. W czasie jednego z doświadczeń (z acetylenem) kran ten przypadkowo się otworzył, i wtedy Cailletet zauważył wewnątrz rurki obłok. Powstanie tego obłoku przypisał



ZYGMUNT WRÓBLEWSKI.



on początkowo zanieczyszczeniom gazu przez parę wodną. Przedsięwziął zatem wszelkie środki ostrożności, aby w następnym doświadczeniu użyć możliwie czystego gazu; mimo to jednak obłok tworzył się za każdym razem, gdy kran był nagle otwierany. Nie mogło być więc wątpliwości, że istotnie mimo warunków pozornie nieprzyjaznych (wązka rurka, wpływ cieplny ścianek naczynia, niewielka ilość gazu) zachodziło rozprężenie adiabatyczne. Cailletet tym sposobem znalazł się w posiadaniu sposobu otrzymywania niskich temperatur. Prowadząc badania nad tlenkiem węglowym i tlenem, dnia 2 grudnia 1877 r. zauważył w rurce tak gęsty obłok, że mógł go przypisać obecności pary blizkiej skroplenia, o czym natychmiast zawiadomił członka Akademii francuskiej Sainte-Claire Deville'a. Z urzędowem jednak zawiadomieniem Akademii Cailletet nie spieszył, a to ze względów następujących: w owym czasie ważyły się losy jego kandydatury na członka Akademii; ogłoszenie przez niego tak świetnych wyników pracy mogłoby sprawić wrażenie, że chce on tym sposobem wywrzeć pewien nacisk na Akademię. Wybór Cailletet'a na członka Akademii nastąpił na posiedzeniu z d. 17 grudnia 1877; na następnym posiedzeniu d. 24 grudnia 1877 r. miał być podany do wiadomości ogółu komunikat Cailletet'a o skropleniu tlenu. Na dwa dni jednak przed posiedzeniem sekretarz Akademii otrzymał od uczonego szwajcarskiego Raoula Pictet'a depezę, donoszącą, że udało mu się skroplić tlen. Na szczęście dla Cailletet'a zachowany został list jego, pisany do Sainte-Claire Deville'a w pierwszych dniach grudnia. Przezorny Sainte-Claire Deville złożył list ten zaraz po odebraniu w sekretaryacie Akademii w zamkniętej kopercie. Tym sposobem Cailletet mógł dowieść swego pierwszeństwa.

Metoda, użyta przez Pictet'a, różniła się zasadniczo od metody Cailletet'a. Pictet otrzymywał niskie temperatury stopniowo, używając, jako ciał chłodzących, gazów o coraz to niższej temperaturze wrzenia. „Cykl“, użyty przez Pictet'a, był następujący: za punkt wyjścia służył gaz, łatwo się skraplający, a mianowicie SO_2 ; gaz ten, wrząc pod zniżonem ciśnieniem, dochodził do temperatury -65° , której udzielał bezwodnikowi węglowemu, mogącemu być skroplonym w tej temperaturze pod niewielkim nawet ciśnieniem. Skroplony bezwodnik węglowy był odprowadzany do innego naczynia, gdzie, wrząc pod zniżonem ciśnieniem, oziębiał się, według Pictet'a, do -130° i wywoływał tym sposobem skro-

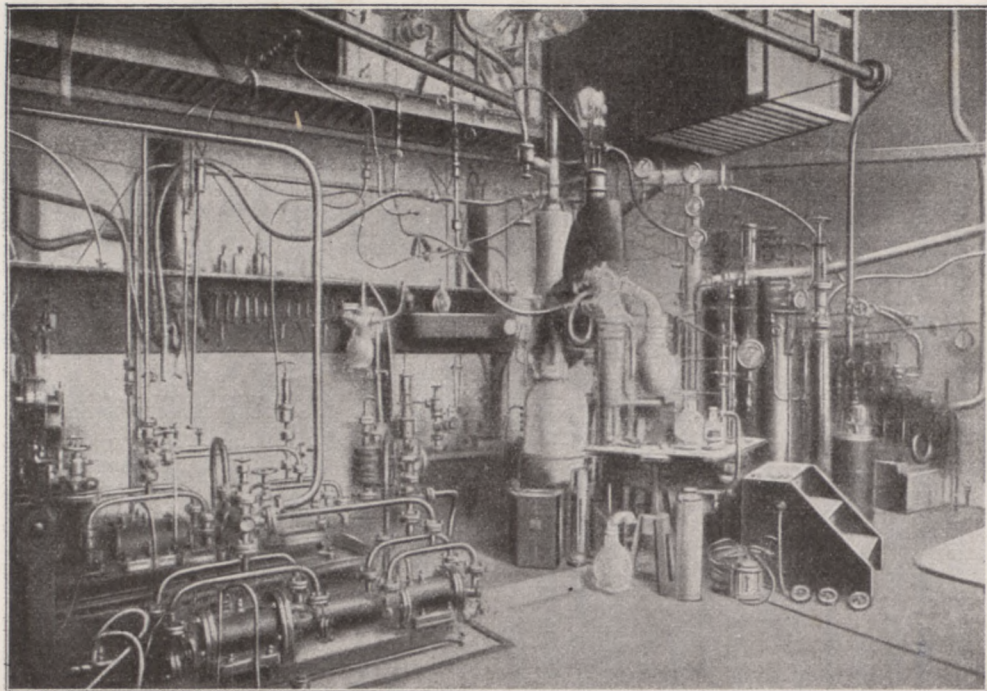
plenie tlenu, znajdującego się pod ciśnieniem, większym od 200 atmosfer. O ile piękną była sama metoda, zastosowana następnie w większych rozmiarach do skroplenia helu przez Kamerlingh'a Onnes'a, o tyle pewna część badań Pictet'a, a zwłaszcza jego dane liczbowe, okazały się z gruntu błędnymi.

W pracy o skraplaniu wodoru Pictet pisze, że wodór skroplony, który miał powstawać w temperaturze -140° , jest koloru niebieskiego i, spadając na ziemię, wydaje odgłos taki, jak opiłki metalowe. Późniejsze badania dowiodły jednak, że w temperaturze -140° nie można otrzymać ciekłego wodoru, gdyż jego temperatura krytyczna leży poniżej 200° , pozatem ciekły wodór jest płynem bezbarwnym i niestycznie ruchliwym.

W każdym razie ani Cailletet'owi ani Pictet'owi nie udało się zebrać ciekłego tlenu; prace ich dowiodły jedynie, że tlen może być skroplony przy pomocy środków, znajdujących się w naszym rozporządzeniu.

Otrzymanie tlenu, jako cieczy w stanie równowagi, było zasługą dwu polskich fizyków Zygmunta Wróblewskiego i Karola Olszewskiego. W doświadczeniach swoich posiłowali się oni metodą Cailletet'a z tą jednak zasadniczą zmianą, że gaz, poddawany rozprężeniu, był uprzednio oziębiony przez etylen, wrzący pod zmniejszonym ciśnieniem. Dnia 9 kwietnia 1883 roku został ostatecznie skroplony tlen, wkrótce potem azot i tlenek węglowy. Te dwa ostatnie gazy zostały również otrzymane w stanie stałym. Wkrótce potem Cailletet skroplił gaz błotny. Wodór jednak opierał się wszelkim próbom skroplenia. Jego temperaturę krytyczną pierwszy wyznaczył teoretycznie Wróblewski, następnie Władysław Natanson; w 1895 r. wyznaczył ją doświadczalnie Olszewski, otrzymując w temperaturze $-234^{\circ},5$ pod ciśnieniem 20 atmosfer wrzenie całej masy cieczy. Ostatecznie jednak wodór został skroplony dopiero w 1898 r. przez fizyka angielskiego Dewar'a.

W tych wszystkich doświadczeniach szczególną trudność sprawiały pomiary tak niskich temperatur. W pierwszych pracach Wróblewskiego i Olszewskiego pomiary te były dokonywane zapomocą termometru wodorowego. Termometr ten jednak już w temperaturach bliskich -200° nie dawał, według zdania Wróblewskiego, dokładnych wskazań, gdyż te temperatury zbyt mało się już różniły od temperatury krytycznej wodoru (-242°). W 1896 roku prof. August Witkowski zbudował bardzo czuły i dokła-



LABORATORYUM NIZKICH TEMPERATUR W LEJDZIE.

dny termometr, opierając się na zmianie przewodnictwa elektrycznego drutu platynowego w zależności od temperatury.

Odkrycie przez Ramsay'a i Rayleigh'a nowych gazów znowu postawiło na porządku dziennym zagadnienie skroplenia gazów. Zadanie jednak obecnie wydawało się znacznie łatwiejszem. Cały szereg prac, (między nimi na specjalną uwagę zasługuje klasyczna praca prof. Witkowskiego (1891^{*)} o ściśliwości powietrza) dołącznie opracowane metody skraplania pozwalały żywić nadzieję, że wkrótce i nowo odkryte gazy będą doprowadzone do stanu ciekłego. Nadzieja ta wkrótce została spełniona co do neonu (temperatura wrzenia około -240°), argonu (temperatura wrzenia -186°), kryptonu (temperatura wrzenia -152°) i ksenonu (temperatura wrzenia -109°); hel jednak przez długi czas nie poddawał się skropleniu. Olszewski doprowadził temperaturę helu do $-263,9$ to znaczy prawie do 13 stopni skali bezwzględnej; hel jednak nie skroplił się. Wreszcie 10 czerwca 1908 roku Kamerlingh'owi Onnes'owi, profesorowi uniwersytetu Leydejskiego, udało się otrzymać ciekły hel w temperaturze $4,5$ stopnia skali bezwzględnej. Metoda przez niego użyta różni się od metody Pictet'a jedynie rozciągłością „cyklu“.

„Cykl“ rozpoczyna się od chlorku metylu, który wrząc oziębia etylen do -90° ; etylen ze swej strony doprowadza do -160° tlen; tlen ochładza wodór; wodór zaś i wytworzony przezeń ciekły hel pozwala otrzymać temperaturę około -270° . Olbrzymia instalacja laboratorium w Leydzie, która powstała dzięki dwudziestoletniej przeszło wyczerpanej pracy prof. Kamerlingh'a Onnes'a, pozwala otrzymać w ciągu kilku godzin 60 cm³ helu, co umożliwi badanie rozmaitych własności ciał w warunkach takich, o jakich lat temu kilka nie można było nawet marzyć. Badania te dały już wyniki ze wszech miar godne uwagi, szczególnie co do przewodnictwa elektrycznego metali i ciepła właściwego ciał stałych.

Równoległe do tych badań laboratoryjnych i w ścisłym z nimi związku rozwijała się nowa zupełnie gałąź techniki: skraplanie powietrza. Rzecz prosta, że przyrządy laboratoryjne nie nadawały się do celów technicznych, choćby ze względu na małe rozmiary i na nieliczenie się z kosztami produkcji masowej. Należało przeto koniecznie brakowi temu zaradzić. Maszyny w tym celu zbudowane należą naogół do dwu typów, potocznie nazywanych typami Linde'go i Clau-

*) Ob. życiorys Witkowskiego na str. 341.

de'a od nazwisk ich wynalazców. Obiedwie opierają się na własności gazów oziębienia się podczas rozprężania z tą jednak różnicą, że w maszynie Linde'go gaz, rozprężając się, naogół nie wykonywa pracy, zaś w maszynie Claude'a wykonywa. Dla stopniowego obniżenia temperatury gazu stosuje się zazwyczaj t. zw. metodę regeneracyjną Siemens'a. Strumień gazu, ochłodzonego przez rozprężenie, nie wychodzi z maszyny, lecz przebiega ją w odwrotnym kierunku, ochładzając gaz wchodzący. Tym sposobem gaz wchodzący jest oziębiany do coraz niższej temperatury, dopóki ochłodzenie nie jest tak znaczne, iż przy rozprężaniu i co zatem idzie dalszym ochłodzeniu gaz się skrapla. Ze względu na coraz większe zastosowanie w technice ciekłego powietrza znaczenie maszyn do skraplania powietrza z każdym rokiem staje się coraz większe.

Wróblewski (Zygmunt Florenty*), jeden z najznakomitszych fizyków polskich, urodził się w Grodnie 28 paźdz. 1845 r. Ukończywszy gimnazjum grodzieńskie w 1862 roku, udał się na uniwersytet do Kijowa. Burzliwy jednak okres czasu, jaki wtedy nadszedł, nie pozwolił mu ukończyć studiów. Wziął on czynny udział w powstaniu 1863 roku, skutkiem czego został 23 lipca 1863 roku aresztowany i w końcu 1864 roku zesłany początkowo do Tomsku, następnie do Kazania. Uwolniony po pięcioletnim zesłaniu, wrócił w 1869 roku do Warszawy, gdzie jednak silna choroba oczu nie pozwoliła mu długo zostawać. Na skutek rady lekarzy wyjechał na kurację do Berlina. Okoliczności tej nauka polska wiele zawdzięcza, gdyż w Berlinie Wróblewski, uczęszczając na wykłady fizyki Magnus'a, Quincke'go, Poggendorf'a odświeżył swoje wiadomości z tej dziedziny. Wtedy też powstały plany obszernych prac naukowych, opartych na nowej zupełnie teorii. Jaka to była teoria, dokładnie nie wiemy. Wiemy tylko, że wspominał on o niej Clausius'owi, z którym się zapoznał na wycieczce w Szwajcaryi. Clausius dał mu radę, aby sprawdził doświadczalnie możliwość takiej teorii. Taką samą radę otrzymał od Helmholtz'a, do którego pojechał początkowo do Heidelberga, następnie zaś po prze-

*) Dane biograficzne, przytoczone w tekście, zawdzięczam łaskawej uprzejmości p. Bronisława Znатовicza, redaktora „Wszeczeświata“, który mi wskazał bardzo obszerny życiorys Wróblewskiego, napisany przez E. Dziejulskiego i pomieszczony we „Wszeczeświecie“ z 1886 roku.

niesieniu Helmholtz'a — do Berlina. Rada Clausius'a i Helmholtz'a była, bezwątpienia, słuszna, dla Wróblewskiego jednak prawie niewykonalna. Jego położenie materialne było bowiem podówczas dość smutne. Zmuszony zarabiać pisywaniem korespondencji do gazet, nie miał wprost pieniędzy na opłacenie miejsca w laboratorium. Opanowało go też, zwłaszcza po rozmowie z Helmholtz'em, pewne zniechęcenie. Chwycił się jednak środka heroicznego: do wszystkich prawie profesorów uniwersytetów niemieckich rozpisał listy, ofiarowując usługi swe w charakterze asystenta wzamian za możliwość pracowania w laboratorium. Na ten list odpisał prof. Jolly z Monachium, proponując mu bezpłatne korzystanie z laboratorium. Na skutek tej odpowiedzi Wróblewski pojechał w 1872 r. do Monachium, gdzie w 1874 r. ogłosił pierwszą swą pracę p. t. „Badania nad wzbudzeniem elektryczności środkami mechanicznymi“ („Untersuchungen über die Erregung der Elektrizität durch mechanische Mittel“), za którą otrzymał tytuł doktora filozofii „summa cum laude“.

W tym samym roku otrzymał posadę asystenta przy Kundt'cie, podówczas profesora strasburskiego uniwersytetu. Wtedy zajął się badaniem własności gazów. Rozprawa o dyfuzji gazów przez ciała pochłaniające była przyjęta przez senat, jako rozprawa habilitacyjna, i zapewniła mu docenturę w Strasburgu. Do tego okresu czasu należą jego prace nad dyfuzją gazów i nad istotą zjawiska pochłaniania gazów. Nazwisko Wróblewskiego zaczynało coraz bardziej być znanem w kołach fizyków. Uznanie dla prac, przez niego wykonanych, wyraziło się w propozycji, jaką Wróblewski otrzymał w 1878 r., objęcia katedry fizyki w Yeddo, w niemieckiej Akademii medycznej. Los, przychylny w danym wypadku nauce polskiej, sprawił, że propozycja ta spełziła na niczem, gdyż profesor, którego miejsce miał zająć Wróblewski, nagle zdecydował się pozostać na stanowisku, wobec czego kandydatura Wróblewskiego, rzecz prosta, upadła. W 1880 roku Wróblewski wyjechał do Paryża; natknął się tam jednak na nieprzewidziane trudności. Docentura, jaką zajmował w Strasburgu, od niedawna dopiero zaanektowanym przez Niemcy, zamknęła przed nim drzwi laboratoriów paryskich. Ta okoliczność była prawdopodobnie jednym z powodów goryczy, z jaką wówczas scharakteryzował naukę francuską w pracy, wydanej po polsku. Charakterystyka ta niezawsze była słuszna, co zresztą musiał, prawdopodobnie, przyznać później sam Wróblewski, gdy po krótkim pobycie w Anglii zaczął pracować

w laboratorium prof. Debray w École Normale Supérieure i bliżej przyjrzał się nauce francuskiej, która wkrótce przy końcu wieku XIX-ego miała zajaśnieć gwiazdami naukowymi pierwszorzędnej wielkości.

Pracując w dalszym ciągu nad gazami, a mianowicie nad pochłanianiem gazów pod wysokim ciśnieniem, zapoznał się z pracami i metodą Cailletet'a. W 1882 roku mógł nareszcie zająć się pracą naukową w kraju, gdyż po śmierci prof. Kuczyńskiego objął katedrę fizyki w Uniwersytecie Jagiellońskim. Pole do pracy otwierało się przed Wróblewskim olbrzymie. Poza umiłowaną przezeń pracą naukową, czekała go ciężka praca pedagogiczna; trzeba było bowiem nowe metody nauczania, z którymi się zapoznał za granicą, przenieść i zaszcześcić w kraju, podnieść poziom laboratoriów fizycznych. Na szczęście pomoc, jaką znalazł u kolegi swego, również profesora Uniwersytetu Jagiellońskiego, Olszewskiego, umożliwiła im obydwoim dokonania pracy, o której już wyżej była mowa, — otrzymania tlenu ciekłego w stanie statycznym.

Niepowodzenia jednak, jakie spotkały polskich badaczy przy próbach skraplania wodoru, skłoniły Wróblewskiego do systematycznego zbadania ściśliwości wodoru. Pracy tej nie skończył, zdążywszy opracować tylko dziewięć pierwszych rozdziałów. Rysując na rajzbracie krzywą ściśliwości wodoru, Wróblewski przewrócił lampę i obłany płonącą naftą umarł w strasznych męczarniach 16 kwietnia 1886 r. Tragiczny ten wypadek, przerywając działalność naukową Wróblewskiego w jej prawdziwym rozkwicie, pozbawił naukę uczonego wielkiej miary, po którym wielu jeszcze cennych prac spodziewać się należało.

Olszewski (Karol Stanisław) ur. się 29 stycznia 1846 roku w Broniszowie (Galicya); po ukończeniu nauk w Sączu i Tarnowie, wstąpił na Uniwersytet Krakowski, gdzie wkrótce w roku 1871 został asystentem przy katedrze chemii. W 1872 r. doktoryzował się u Bunsen'a w Heidelbergu, poczem w 1876 r. został nadzwyczajnym, a w 1891 r. zwyczajnym profesorem chemii na Uniwersytecie Jagiellońskim. Liczne jego prace naukowe, które ułamkowo zaledwie omówiliśmy w tekście, zapewniły mu wybitne miejsce między uczonymi europejskimi.

O skropleniu tlenu i azotu i o zestaleniu siarczku węgla i alkoholu*).

[Dnia 9 kwietnia otrzymał p. Debray od p. Wróblewskiego następującą depeszę: „Tlen skroplony zupełnie ciekły, bezbarwny, jak kwas węglowy. Za dni kilka otrzyma pan komunikat“].

Piękne prace pp. Cailletet i Raoula Pictet nad skraplaniem gazów pozwoliły mieć nadzieję, że z czasem będziemy w stanie obserwować tlen, doprowadzony do stanu ciekłego, w rurce szklanej, jak to obecnie czynimy z kwasem węglowym. Jedynym warunkiem było otrzymanie temperatury dostatecznie niskiej. P. Cailletet w pracy, ogłoszonej przed rokiem **), zalecał etylen skroplony, jako środek otrzymania dużego zimna. Ciecz ta, pod ciśnieniem jednej atmosfery, wrze w -105° C., jeżeli mierzymy temperaturę termometrem z siarczkiem węglowym. Zgęściwszy tlen w rurce nieco włoskowatej i ochłodziwszy go w tej cieczy do -105° C., p. Cailletet zauważył w chwili rozprężania „gwałtowne gotowanie się, które trwa dość znaczny przeciąg czasu i przypomina przechodzenie cieczy do ochłodzonej części rury. Gotowanie to odbywa się w pewnej odległości od dna rurki. Nie mogłem rozpoznać, dodaje

*) „Sur la liquéfaction de l'oxygène et de l'azote, et sur la solidification du sulfure de carbone et de l'alcool“ note de MM. S. Wróblewski et K. Olszewski. Comptes Rendus, Tom 96, str. 1140.

**) Comptes Rendus, Tom 94, str. 1224.

p. Cailletet, czy ciecz ta istnieje uprzednio czy też tworzy się w chwili rozprężenia, gdyż nie mogłem jeszcze widzieć powierzchni rozdziału gazu i cieczy“.

Skorzystawszy z nowego przyrządu, zbudowanego przez jednego z nas *) i pozwalającego stosunkowo znaczne ilości gazu poddać ciśnieniu kilkuset atmosfer, postanowiliśmy zbadać temperatury, jakie posiadają gazy podczas rozprężenia. Te doświadczenia wkrótce nas doprowadziły do odkrycia temperatury, przy której można zamrozić siarczek węgłowy i alkohol i w której tlen z wielką łatwością się skrapla.

Otrzymuje się tę temperaturę, wyparowywując etylen w próżni. Temperatura zależy od stopnia otrzymanej próżni; minimum, któreśmy mogli otrzymać dotychczas, wynosi -136° C. Wyznaczyliśmy tę temperaturę, jak i wszystkie inne, termometrem wodorowym.

Temperatura krytyczna tlenu jest niższa od temperatury, przy której wre etylen pod ciśnieniem atmosferycznym. Ta zaś temperatura nie równa się -105° C., jak przyjmowano dotychczas, lecz leży między -102° C. i -103° C., jak to znaleźliśmy przy użyciu naszych termometrów.

Z szeregu doświadczeń, wykonanych przez nas 9 kwietnia, dajemy tytułem przykładu, następujące liczby:

temperatura	ciśnienia w atmosferach, pod któremi tlen zaczyna się skraplać
$-131,6$	26,5
$-133,4$	24,8
$-135,8$	22,5

Ogłaszając te liczby, zachowujemy sobie prawo ogłoszenia w następnej pracy liczb ostatecznych.

Tlen ciekły jest bezbarwny i przezroczysty, jak kwas węgłowy. Jest bardzo ruchliwy i tworzy bardzo wyraźny menisk.

Co do siarczku węgłowego, to zamarza on w -116° C., topi się w -110° C. Alkohol staje się lepki, jak oliwa,

*) Wróblewskiego.

przy -129° C. i, zestalając się przy -130° C., staje się ciałem białym.

[16 kwietnia sekretarz Akademii p. Debray otrzymał od Wróblewskiego depezę następującą: „Azot ochłodzony, skroplony przez rozprężanie. Menisk widoczny, ciecz bezbarwna“].

O skropleniu azotu *).

Skropliwszy całkowicie tlen, staraliśmy się skroplić azot. Gaz ten, oziębiony w rurce szklanej do -136° C. i poddany ciśnieniu 150 atm., jeszcze się nie skrapla. Nic nie można zauważyć w rurce.

Jeżeli się wywoła nagłe rozprężenie, w całej rurce zajdzie gwałtowne wrzenie. Może ono być porównane jedynie z wrzeniem kwasu węglowego ciekłego w szklanej rurce Natterer'a, gdy się zanurzy tę rurkę w wodzie, ogrzanej do temperatury nieco wyższej od temperatury krytycznej kwasu węglowego. Ale, jeżeli się wywoła rozprężenie powoli i jeżeli, zmniejszając ciśnienie, nie przekracza się ciśnienia 50 atm., azot skrapla się całkowicie: ciecz posiada wtedy bardzo wyraźny menisk i bardzo prędko paruje.

To też azot pozostaje zaledwie kilka sekund w stanie statycznym cieczy trwałych. Aby módz go dłużej w tym stanie utrzymać, trzeba by mieć do rozporządzenia temperaturę niższą od minimum, któreśmy byli w stanie otrzymać naszym sposobem. Staramy się wyszukać sposoby otrzymania tej temperatury. Azot ciekły jest bezbarwny i przezroczysty, jak tlen i kwas węglowy.

W chwili, gdy książka niniejsza była już w druku, nadeszła wiadomość o nagłym zgonie prof. Witkowskiego.

August Witkowski, ur. w 1854 r. w Brodach, po studiach na Politechnice Lwowskiej i kilkoletniej pracy nad fizyką w uniwersytetach Krakowskim, Berlińskim i Glasgow'skim, został w 1881 r.

*) „Sur la liquéfaction de l'azote“ note de MM. S. Wróblewski et K. Olszewski, Comptes Rendus, Tom 96, str. 1225.

docentem w Politechnice Lwowskiej i szkole rolniczej w Dublinach. Po śmierci Wróblewskiego objął katedrę fizyki doświadczalnej w Uniwersytecie Jagiellońskim. Na tem stanowisku rozwinął owocną działalność na polu naukowym i pedagogicznym. Prace jego naukowe, które w niewielu zaledwie słowach mogliśmy omówić w książce niniejszej, miały i mają wielkie znaczenie w fizyce gazów; one to wraz z klasycznymi badaniami Regnault'a i Amagat'a umożliwiły otrzymanie tak pięknych i doniosłych wyników, do jakich w ostatnich czasach doszła ta gałąź fizyki. Dla nauki polskiej nazwisko Witkowskiego będzie raz na zawsze związane z dwoma czynami: opracowaniem trzytomowych „Zasad fizyki“ i ostatecznem urządzeniem instytutu fizycznego w Krakowie. „Zasady fizyki“, których tom trzeci i ostatni opuścił prasę w 1912 r., są dotychczas jedynym polskim podręcznikiem fizyki, podręcznikiem pod wielu względami jedynym również w literaturze europejskiej. W „Zasadach“ po raz pierwszy została opracowana systematycznie i wszechstronnie terminologia naukowa polska, po raz pierwszy zostały, nieraz w sposób mistrzowski, przedstawione po polsku najnowsze zdobycze i teorie fizyki. Instytut fizyczny (im. Witkowskiego, według uchwały Senatu Uniwersytetu Krakowskiego), któremu poświęcił Witkowski ostatnie lata swego życia, umożliwił wreszcie poważną, na szeroką skalę zakrojoną pracę naukową w najstarszym naszym Uniwersytecie.

Śmierć Witkowskiego (21 stycznia 1913 r.) jest bolesną dla nauki polskiej stratą.

KONIEC TOMU PIERWSZEGO.

SKOROWIDZ NAZWISK.

- d' Alembert* str. 255.
Amagat str. 342.
Amontons Wilhelm: zyc. str. 166;
wzmianki w tekście: str. 163, 164,
175, 178, 179.
Arago str. 101.
Andrews Thomas: zyc. str. 313—316;
„O ciągłości stanów materji ga-
zowego i ciekłego“ str. 317—331;
wzmianki w tekście: str. 332.
Archimedes: zyc. str. 3—5; „O ró-
wnowadze płaszczyzn czyli o ich
środkach ciężkości“ str. 6 — 8;
„O ciałach, które unoszą się na
płynie“ str. 8 — 12; wzmianki
w tekście: str. 13, 24.
Arystarch str. 5.
Arystoteles str. 15, 23, 24, 27, 28, 67.
Bacon str. 247.
Baranowski Jan str. 18.
Barlow str. 306.
de la Bèche str. 110.
Bernoulli Jan str. 222.
Berthelot str. 314.
de Berthollet Claude Louis: zyc. str.
184; wzmianki w tekście: str. 175,
182, 279.
Bequerel str. 284.
Beudant str. 106.
Biot str. 106, 116, 117, 255.
Black Józef: zyc. str. 186; wzmian-
ki w tekście: str. 172, 186, 187,
197, 199.
Boerhave str. 186.
du Bois-Reymond str. 256, 257, 258,
264.
Boltzmann str. 289.
Boyle Robert: zyc. str. 96 — 97;
wzmianki w tekście: str. 44, 91,
97, 240, 247, 248, 313.
Breguet str. 236.
Brudzewski (z Brudzewa) Wojciech
str. 14.
Brücke str. 256, 277.
Bunsen str. 198, 338.
Cagniard de la Tour str. 119, 121,
314, 315, 317, 329.
Cailletet str. 332, 333, 334, 338, 339,
340.
Carnot Łazarz str. 202, 223.
Carnot-Sadi Nicolas: zyc. str. 199—
202; „Uwagi o potędze porusza-
jącej ognia i t. d.“ str. 203—217;
wzmianki w tekście: str. 218, 219,
223, 251, 272, 279, 284, 286, 287,
288, 289, 290, 291, 292, 293, 295,
297, 299, 300, 302, 307, 308, 309,
310, 312.

- Celsius Andreas*: zyc. str. 167; „Spostrzeżenia, dotyczące dwu stałych stopni i t. d.“ str. 168—171; wzmianki w tekście: str. 154, 158, 166, 172, 173, 175, 185.
Chastin str. 72.
Chappuis str. 184.
Charles Jacques: zyc. str. 184; wzmianki w tekście: str. 175, 179.
Chladni str. 117, 149.
Chwolson str. 198, 289, 331.
Clapeyron Benoît: zyc. str. 284; wzmianki w tekście: str. 272, 279, 286, 290, 291, 295, 302.
Claude str. 313, 315, 335, 336.
Clausius Rudolf: zyc. str. 286—289; „O sile poruszającej ciepła i t. d.“ 290 — 299; wzmianki w tekście: 219, 300, 302, 304, 307, 308, 312, 336.
Clouet str. 314.
Colladon: „Szybkość głosu w cieczach“ str. 102—114; wzmianki w tekście: str. 102.
Coupin str. 69, 74, 92.
Crawford str. 200.
Cullen str. 236.
Dalton John: zyc. str. 247; wzmianki w tekście: str. 175, 234, 236.
Dannemann str. 69, 79.
Darwin str. 236.
Dastre str. 256.
Davy str. 199, 200, 247, 280.
Débray str. 337, 339, 341.
Descartes str. 43, 220, 221, 222, 224, 234.
Despretz str. 283.
Dewar str. 334.
Dominik Marya z Ferrary str. 15.
Donders str. 144.
Drion str. 315.
Duhem str. 24.
Dufour str. 253.
Dulong str. 175, 247, 283.
Dumas str. 315.
Dühring str. 257.
Dziewulski Eugenjusz str. 336.
Ekfant str. 19.
Ekström str. 167.
Euklides str. 24, 43, 66.
Euler str. 105.
Fahrenheit Daniel Gabryel: zyc. str. 153—154; „Doświadczenia i spostrzeżenia nad zamrażaniem wody w próżni“ str. 155 — 157; wzmianki w tekście: str. 158, 159, 167, 170, 172, 185, 187, 238, 241.
Faraday str. 235, 259, 261, 263, 301, 306, 314, 317.
Fermat str. 66.
Forbes str. 247.
Fourier str. 129, 301.
Franke Jan Nepomucen str. 222.
Franklin str. 106, 184.
Fresnel str. 276, 301.
Galileusz: zyc. str. 23—26; „Dyalogi i dowody matematyczne i t. d.“ str. 27—40; wzmianki w tekście: str. 15, 42, 45, 46, 67, 77, 91, 149, 153, 220, 251.
Gauss str. 263.
Gay-Lussac Louis Joseph: zyc. str. 174—176; „Badania nad rozszerzaniem się gazów i par i t. d.“ str. 177—183; wzmianki w tekście: str. 101, 105, 199, 232, 268.
Green str. 301.
Guericke Otto von: zyc. str. 77—78; „Otona von Guericke'go nowe (t. zw.) Magdeburckie doświadczenia i t. d.“ str. 79—90; wzmianki w tekście: str. 67, 96.
Halley str. 46, 166.
Hamilton str. 301.
Helmholtz Hermann von: zyc. str. 250—266; „Nauka o wrażeniach

- dźwiękowych i t. d." str. 123—149; „O zachowaniu siły“ str. 267—284; wzmianki w tekście: str. 149, 218, 285, 286, 287, 289, 301, 302, 304, 336, 337.
- Henry* str. 279.
- Heraklides* str. 3, 19.
- Hermann* str. 149.
- Hertz Henryk* str. 263, 265.
- Hess* str. 198.
- Hipparch* str. 15.
- Hirn* str. 201, 285, 289.
- Hooke* str. 44, 46, 47.
- Hubin* str. 93, 94.
- Humboldt* str. 101.
- Huygens* str. 46, 59, 65, 221, 251.
- Jacobi* str. 257.
- Jamin* str. 284.
- Jaquerod* str. 184.
- Jolly* str. 184, 337.
- Jouguet* str. 48.
- Joule James Prescott*: zyc. str. 233—234; „O zmianach temperatury przy rozrzedzeniu i zgęszczeniu i t. d.“ str. 235—247; wzmianki w tekście: str. 248, 250, 257, 279, 281, 282, 287, 292, 300, 306, 307, 310, 311, 312.
- Kamerlingh Onnes* str. 184, 334, 335.
- Kant* str. 188, 255, 256, 262, 284.
- Keppler* str. 17, 20, 43, 45, 57, 63.
- Kirchhoff* str. 304.
- Koenigsberger* str. 253.
- Kopernik Mikołaj*: zyc. str. 14—17; „O obrotach ciał niebieskich“ str. 18—22; wzmianki w tekście str. 41, 45, 63, 78.
- Kuczyński* str. 333.
- Kundt* str. 101, 337.
- Lagrange* str. 105, 200, 255.
- Lahire* str. 175.
- Laplace de Pierre Simon*: zyc. str. 184—189; „Rozprawa o ciepłe“ str. 190—196; wzmianki w tekście: str. 45, 103, 105, 174, 198, 199, 200, 223, 255, 301.
- Lavoisier Antoine Laurent*: zyc. str. 184—189; „Rozprawa o ciepłe“ str. 190—196; wzmianki w tekście: str. 174, 198, 199, 223, 312.
- Leibniz* str. 13, 63, 66, 221, 222, 251.
- Liebig* str. 225.
- Linde* str. 335, 336.
- Lubiński Stanisław* str. 48.
- Mach E.* str. 153, 186, 188, 197, 193, 200, 201, 234, 286, 300.
- Magnus* str. 176, 336.
- Magnus Valerian* str. 89, 90.
- Mariotte Edme*: zyc. str. 91; „Rozprawa o własnościach powietrza“ str. 92—96; wzmianki w tekście: str. 97, 240, 248, 268, 296, 313, 323, 327.
- Martin* str. 187.
- Mascart* str. 304.
- Masson* str. 284.
- Maxwell* str. 265.
- Mayer Julius Robert*: zyc. str. 220—225; „Uwagi o siłach nieożywionej przyrody“ str. 226—231; wzmianki w tekście: 232, 233, 250, 257, 258, 287.
- Melloni* str. 277, 284.
- Mendelejew* str. 315.
- Mersenne* str. 66, 101.
- Metzius* str. 25.
- Meyerson* str. 221, 222, 223.
- Moll* str. 101.
- Monge* str. 175, 314.
- Muschenbroek* str. 186.
- Müller Johannes* str. 256, 262.
- Natanson Władysław* str. 51, 334.
- Natterer* str. 314, 317, 328, 341.
- Newton Isaac*: zyc. str. 42—47; „Matematyczne zasady filozofii“

- natury" str. 48 — 62; wzmianki w tekście: str. 13, 17, 20, 22, 25, 41, 101, 104, 114, 166, 169, 247.
- Nicetas* str. 19.
- Oettingen von* str. 27, 166.
- Ohm Jerzy*: zyc. str. 149; wzmianki w tekście: str. 127, 128, 140, 260.
- Olszewski Karol Stanisław*: zyc. str. 332—338; „O skropleniu tleniu i t. d.“ str. 339—341; „O skropleniu azotu“ str. 341.
- Ostwald Wilhelm* str. 176, 225, 253.
- Osiander* str. 16.
- Quincke* str. 336.
- Pascal Blaise*: zyc. str. 66 — 68; „Opowiadanie o wielkiem doświadczeniu i t. d.“ str. 69—73; „Rozprawa o równowadze płynów“ str. 74 — 76; wzmianki w tekście str. 77.
- Périer* str. 67, 69, 71.
- Petit* str. 175.
- Picard* str. 44.
- Pictet* str. 112.
- Pictet Raoul* str. 333, 334, 335, 339.
- Pitagoras* str. 15.
- Poincaré Henryk* str. 220, 222, 289.
- Poisson* str. 104, 105, 106, 247.
- Pouillet* str. 317.
- Poggendorff* str. 225, 336.
- Ptolomeusz* str. 15, 20, 21, 26.
- Ramsay* str. 335.
- Rankine* str. 302, 305.
- Rayleigh* str. 335.
- Réaumur René André*: zyc. str. 159—160; „Prawidła budowy termometrów i t. d.“ str. 161—165; wzmianki w tekście: str. 154, 166, 167, 163, 198.
- Regnault* str. 101, 176, 184, 198, 301, 306, 315, 317, 342.
- Rethik* str. 16.
- Ricci* str. 24.
- Roberval* str. 66.
- Roy* str. 175.
- Rudberg* str. 175.
- Rumford* str. 199, 200, 247.
- Sainte-Claire Deville* str. 333.
- Saussure de Horace*: zyc. str. 184; wzmianki w tekście: str. 112, 183.
- Sauveur Józef*: zyc. str. 122; wzmianki w tekście: str. 117.
- Savart Feliks*: zyc. str. 116; „O wrażliwości narządu słuchowego“ str. 117—121.
- Schoner* str. 17.
- Séguin* str. 223.
- Siemens Werner* str. 264, 304, 336.
- Siemens William* str. 304.
- Stevin* str. 251.
- Stokes* str. 303, 304.
- Strömer* str. 167.
- Sturm* patrz *Colladon*.
- Taglini* str. 169, 172.
- Tait* str. 288, 303.
- Tammann* str. 331.
- Thilorier* str. 315, 317, 325.
- Thomson James* str. 261, 287, 330.
- Thomson William* (lord *Kelvin*): zyc. str. 301—305; „O dynamicznej teorii ciepła i t. d.“ str. 306—312; wzmianki w tekście: str. 201, 259, 261, 562, 286, 287, 288, 289, 290, 292, 300, 331.
- Torricelli* str. 26, 67, 76, 77, 91.
- Townley* str. 97.
- Travers* str. 184.
- Tycho de Brahe* str. 45.
- Ure* str. 236.
- Wallis* str. 43.
- Welter* str. 105.
- Wertheim* str. 115.
- Wiedemann* str. 264, 304.
- Wilke* str. 198.
- Witkowski August*: zyc. str. 341—

- 342; wzmianki w tekście: 115, 149, 172, 198, 247, 285, 287, 312, 331, 334, 335.
- Wolfers* str. 48.
- Wollaston* str. 117, 120.
- Wróblewski Zygmunt Florenty*: życ. str. 332—338; „O skropleniu tlenu i t. d.“ str. 339—341; „O skropleniu azotu“ str. 341, wzmianki w tekście: str. 342.
- Wüllner* str. 102.
- Van Beck* str. 101.
- Vandermonde* str. 175.
- Van Marum* str. 313.
- Varignon* str. 222.
- Viviani* str. 26, 67.
- Virchow* str. 256.
- Volta* str. 211, 251.
- Young* str. 103, 115.
- Znatowicz Bronisław* str. 336.
-

SKOROWIDZ RZECZY.

- Analiza dźwięków*: zapomocą re-
sonatorów str. 135;
— zapomocą widełek stroi-
kowych str. 142.
- Barometr wodny* str. 77, 84—87.
- Barwa dźwięku* str. 125, 126, 136—
149.
- Ciążenie powszechne* str. 17, 19, 43,
44, 45, 46, 47, 55, 57—62.
- Cieplik*: hipoteza cieplika str. 140;
— niezniszczalność cieplika
str. 200, 201;
— spadek cieplika str. 205.
- Ciepło*: swobodne str. 190, 192;
— parowania str. 315;
— topnienia lodu str. 195, 198;
— właściwe str. 105, 114, 193.
- Cisnienie atmosfery*: str. 67, 69—76,
77, 83, 87—89.
- Cykl Carnot'a* str. 209, 214, 295.
- Drgania*: błon str. 131;
— proste str. 127;
— strun str. 32—33;
— wahadłowe str. 127, 130.
- Dwumian Newton'a* str. 43.
- Dźwięki*: muzyczne str. 123;
— proste str. 138;
— piszczałek str. 138;
— samogłosek str. 141.
- Energia*: rozpraszanie energii str.
288;
— zachowanie energii str. 222,
266—284.
- Granice dostrzegalności tonów* str.
117;
- Ilość ruchu*: zachowanie ilości ru-
chu str. 221.
- Isochronizm* str. 24, 40.
- Kalorymetr lodowy* str. 194.
- Kalorymetrya* str. 185—198.
- Koło Savar'a* str. 118.
- Linie węzłowe* str. 131, 149.
- Maszyna*: Claude'a str. 136;
— elektryczna Guericke'go
str. 78;
— Linde'go str. 335, 336.
- Mechaniczny równoważnik ciepła*
str. 202, 230, 232, 241, 247,
277.
- Metoda granic* str. 46.
- Natężenie dźwięku* str. 125.
- Obrót ziemi* str. 13.
- Oddźwięk* str. 129, 130.
- Perpetuum mobile*: pierwszego ro-
dzaju str. 210, 251.
— drugiego rodzaju str. 218.
- Perypatetyczny kierunek* str. 23, 24,
40, 47.

- Pewnik*: Clausius'a str. 299.
 — Thomson'a str. 309.
Piszczalki stroikowe str. 138.
Pojemność cieplna patrz *ciepło właściwe*.
Pompa pneumatyczna str. 78, 79—93.
Postać drgań str. 126, 127.
Prawidła badania natury str. 54—56. ¶
Prędkość głosu: str. 101, 114.
 — w cieczech str. 103.
 — w ciałach stałych str. 106, 115.
Próżnia str. 27, 28, 67, 69—73, 77, 79, 80, 81, 89, 90.
Przechłodzenie cieczy str. 156.
Przegrzanie cieczy str. 156.
Przemiany naturalne str. 287.
 — sztuczne str. 287.
Rachunek fluksyi str. 43, 63;
Regeneracyjna metoda Siemens'a str. 336.
Resonancya: str. 130.
 — błon str. 132, 133.
 — w piszczalkach stroikowych str. 140.
 — w jamie ustnej str. 141, 142.
Resonatory Helmholtz'a str. 133, 134, 140.
Rozkładanie drgań na drgania proste str. 128, 129.
Rozprężanie gazów: str. 241.
 — adiabatyczne str. 247, 333,
Rozszerzalność cieplna: azotu str. 179, 180, 181, 184;
 — bezwodnika siarkowego str. 181, 315;
 — bezwodnika węglowego str. 179, 181, 317, 318, 325;
 — chlorowodoru str. 181;
 — cieczy str. 162;
 — gazu amoniakalnego str. 184;
 — par str. 181;
 — powietrza str. 175, 180, 181, 184;
 — tlenu str. 179, 180, 181, 184;
 — wodoru str. 179, 180, 181, 184.
Równia str. 29, 36, 37.
Równoważność przemian str. 287.
Ruch: jednostajny str. 34, 35, 38—39, 44, 48, 49, 51;
 — okresowy str. 124;
 — pocisków str. 38, 39;
 — prawa ruchu str. 51, 52, 53;
 — przyspieszony str. 35, 38, 40;
Samogłoski str. 141 i nast., 147, 148, 149.
Ścisliwość: bezwodnika węglowego str. 324—329;
 — gazów str. 317, 318;
 — powietrza str. 92—96;
Siła dośrodkowa str. 44, 49, 50, 58.
Siła żywa: str. 191, 198, 221.
 — zachowanie siły żywej str. 192, 222, 272, 274.
Spadanie ciał str. 24, 26, 29, 36, 45, 46.
Skala bezwzględna temperatur str. 286.
Skala termometryczna patrz *termometr*.
Składanie drgań str. 128.
Skraplanie gazów: str. 312—341;
 — amoniaku str. 313, 314;
 — argonu str. 335;
 — azotu str. 334, 341;
 — bezwodnika siarkowego str. 314;
 — bezwodnika węglowego str. 314;
 — chlorowodoru str. 314;
 — chloru str. 314, 317;
 — gazu błotnego str. 334;
 — helu str. 335;
 — kryptonu str. 335;
 — ksenonu str. 335;

- neonu str. 335;
- siarkowodoru str. 314;
- tlenku węgla str. 333, 334;
- wodoru str. 334.
- Stroiki* str. 139.
- Struny głosowe* str. 139, 141.
- Synteza*: dźwięków str. 145 i nast.
- samogłosek str. 147, 148.
- System kopernikański* str. 16, 17, 18—22, 26, 45, 78.
- Szmary* str. 123, 137.
- Teleskop* str. 25, 44.
- Teorya*: emisyjna str. 44, 46;
- falowa str. 44;
- mechaniczna ciepła str. 191.
- Temperatura krytyczna* str. 315.
- wodoru str. 334.
- Temperatura wrzenia*: wody str. 158, 160, 163, 166, 169, 170, 172.
- argonu str. 335;
- kryptonu str. 335;
- ksenonu str. 335;
- neonu str. 335.
- Termometr*: Celsius'a str. 167 171;
- Fahrenheit'a str. 155;
- florencki str. 153, 162;
- Galileusza str. 25, 153;
- platynowy str. 335;
- Réaumur'a str. 159, 164;
- wodorowy str. 334.
- Termometrya* str. 153—184.
- Tony*: charakterystyczne samogłosek str. 143, 144, 149;
- cząstkowe str. 127;
- harmoniczne wyższe str. 126, 140;
- zasadnicze str. 127.
- Topnienie lodu*: temperatura topnienia str. 164, 169;
- zależność od ciśnienia str. 287, 331.
- Trójkątowanie* str. 115.
- Twierdzenie*: Carnot'a str. 217, 297, 308;
- Joule'a str. 293, 307.
- Waga hydrostatyczna* str. 24.
- Wahadło* str. 29, 30, 31, 46, 59.
- Wysokość tonu* str. 125.
- Zasada Archimedesesa* str. 3, 9—13.
- Zasady*: dynamiki str. 25, 45, 46, 48—52;
- termodynamiki str. 199—312.
- Zestalenie*: alkoholu str. 340.
- azotu str. 334.
- bezwodnika węglowego str. 317.
- siarczku węgla str. 340,
- tlenku węgla str. 334.
- Zgęszczanie gazów*: str. 237;
- adiabatyczne str. 247.

SPIS RZECZY.

	<i>Str.</i>
MECHANIKA I DYNAMICZNE WŁASNOŚCI CIAŁ,	
opracowała M. Sadzewiczowa.	
<i>Archimedes.</i> Życiorys	3
O równowadze płaszczyzn czyli o ich środkach ciężkości	6
O ciałach, które unoszą się na płynie.	9
Uwagi	12
<i>Mikołaj Kopernik.</i> Życiorys.	14
O obrotach ciał niebieskich	18
Uwagi	22
<i>Galileusz.</i> Życiorys.	23
Dyalogi i dowody matematyczne, dotyczące dwu nowych ga- łęzi wiedzy.	27
Uwagi	40
<i>Isaac Newton.</i> Życiorys	42
Matematyczne zasady filozofii natury	48
O układzie świata	53
Uwagi	63
<i>Pascal.</i> Życiorys.	66
Opowiadanie o wielkiem doświadczeniu, dotyczącem równowagi płynów	69
Rozprawa o równowadze płynów	74
Uwagi	76
<i>Otto von Guericke.</i> Życiorys	77
Ottona v. Guericke'go nowe (t. zwane) Magdeburgskie doświad- czenia nad przestrzenią próżną	79
<i>Mariotte.</i> Życiorys	91
Rozprawa o własnościach powietrza	92
Uwagi	96

AKUSTYKA,
opracował dr. W. Werner.

Prędkość głosu	101
<i>O ściśliwości cieczy</i> , przez pp. <i>Colladon'a</i> i <i>Sturm'a</i> z Genewy	103
Szybkość głosu w cieczach.	103
Uwagi	114
<i>Feliks Savart. Życiorys</i>	116
O wrażliwości narządu słuchowego.	117
Uwagi	122
<i>Hermann von Helmholtz. Nauka o wrażeniach dźwiękowych, jako podstawa fizyologiczna teorii muzyki:</i>	
O wrażeniach głosowych wogóle.	123
Składanie drgań	128
Analiza dźwięków za pomocą oddźwięku	129
O różnicach w muzycznej barwie dźwięków	136
O dostrzeganiu barwy dźwięku	145
Uwagi	149

CIEPŁO,
opracował dr. M. Grotowski.

Termometrya.	
<i>Daniel Gabriel Fahrenheit. Życiorys</i>	153
Doświadczenia i spostrzeżenia nad zamarzaniem wody w próżni	155
Uwagi	158
<i>René Antoine Ferchault de Réaumur. Życiorys</i>	159
Prawidła budowy termometrów ze skalami, dającymi się porównywać, które dają pojęcie o zimnie i ciepłe oraz mogą być sprowadzone do znanych miar	161
Uwagi	166
<i>Andreas Celsius. Życiorys</i>	167
Spostrzeżenia, dotyczące dwu stałych stopni na termometrze	168
Uwagi	172
<i>Louis Joseph Gay Lussac. Życiorys</i>	174
Badania nad rozszerzaniem się gazów i par pod wpływem ciepła.	177
Uwagi	184
Kalorymetrya. *	
<i>Antoine Laurent Lavoisier i Pierre Simon de Laplace. Życiorys</i>	185
Rozprawa o ciepłe	190
Uwagi	197
Zasady termodynamiki.	
<i>Nicolas Leonard Sadi Carnot. Życiorys</i>	199

	Str.
Uwagi o potędze poruszającej ognia i o maszynach zdolnych do wytworzenia tej potęgi	203
Uwagi	218
<i>Juljusz Robert Mayer.</i> Życiorys	220
Uwagi o siłach przyrody nieożywionej	226
Uwagi	231
<i>James Prescott Joule.</i> Życiorys	233
O zmianach temperatury, wywołanych przez rozrzedzenie i zgęszczenie powietrza	235
Uwagi	247
<i>Hermann von Helmholtz.</i> Życiorys	250
O zachowaniu siły	267
Uwagi	284
<i>Rudolf Clausius.</i> Życiorys	286
O sile poruszającej ciepła i o prawach, które można stąd wyprowadzić dla nauki o ciepłe	290
Uwagi	300
<i>William Thomson (lord Kelvin).</i> Życiorys	301
O dynamicznej teorii ciepła wraz z wynikami liczbowymi, wyprowadzonymi z równoważnika jednostki cieplnej p. Joule'a i z obserwacyi nad parą p. Regnault'a	306
Uwagi	312
<i>Thomas Andrews.</i> Życiorys	313
O ciągłości stanów materji gazowego i ciekłego	317
Uwagi	331
<i>Zygmunt Florenty Wróblewski i Karol Stanisław Olszewski.</i> Życiorysy	332
O skropleniu tlenu i azotu i o zestaleniu siarczku węgla i alkoholu.	339
O skropleniu azotu.	341
<i>Skorowidz nazwisk.</i>	343
<i>Skorowidz rzeczy.</i>	348



Biblioteka Główna UMK



300052022844

