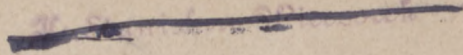


329.973



Z DZIEJÓW ROZWOJU FIZYKI

A. B. C. D. E. F. G. H. I. J. K. L. M. N. O. P. Q. R. S. T. U. V. W. X. Y. Z.

Z DZIEJÓW ROZWOJU FIZYKI.

WYPISY Z DZIEŁ ORYGINALNYCH

ZEBRALI I PRZEŁOŻYLI

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

TOM II

[MAGNETYZM I ELEKTRYCZNOŚĆ. OPTYKA.
JONY I ELEKTRONY].

Z 88 FIGURAMI W TEKŚCIE I 7 PORTRETAMI.



NAKLAD I Druk TOW. AKC. S. ORGELBRANDA SYNÓW.
SKŁADY GŁÓWNE: E. WENDE I SPÓŁKA, WARSZAWA,
L. FISZER, W ŁODZI.

1914.

329973



K. 2551/62

SŁOWO WSTĘPNE.

Tom drugi naszej książki zbiorowej w układzie swoim nie różni się od wydanego w zeszłym roku tomu pierwszego. Jak i poprzedni, nie jest on bynajmniej historią fizyki, choćby nawet skróconą, — takie bowiem zadanie nie odpowiadałoby celowi, który chcieliśmy osiągnąć. Zamiarem naszym było umożliwić czytelnikowi bliższe i bardziej bezpośrednie zetknięcie się z temi pracami, które w dziejach rozwoju fizyki ważne posiadają znaczenie, uplastyczyć, do pewnego stopnia, te twórcze wysiłki, które krok za krokiem zdobywały dla nauki nowe dziedziny, lub zakładały pod nią mocne fundamenty teoryi, wreszcie — zaznajomić na przykładach konkretnych z metodą społecznego badania naukowego. Z tego zaś założenia wychodząc, pominęliśmy te prace i tych twórców, którzy ze społeczną myślą naukową bezpośredniego związku nie mają. W tomie więc niniejszym nie umieściliśmy żadnego wyjątku z dzieł autorów Starożytności i Średniowiecza. I to nie dlatego bynajmniej, abyśmy pracom ich małe przypisywali znaczenie. Nie można przecież nie uznać, że pominięte przez nas epoki były koniecznym i nieuniknionym etapem w rozwoju myśli naukowej; nie mniej jednak myśl badawcza w epokach tych jest tak często zaciemniona i przysłonięta dygresjami obcemi nauce

spółczesnej—iż nie wydawało się nam celowem podawanie wyjątków z dzieł takich nawet autorów, których historyk pominąćby nie mógł. Z wyjątkiem Archimedeśa (wyjątkiem chronologicznym jedynie, lecz nie wykraczającym przeciwko przyjętej zasadzie) w obu tomach nie cofnęliśmy się wstecz poza Galileusza i Kopernika, których prace są niejako słupem granicznym, zaznaczającym narodziny myśli naukowej społecznej.

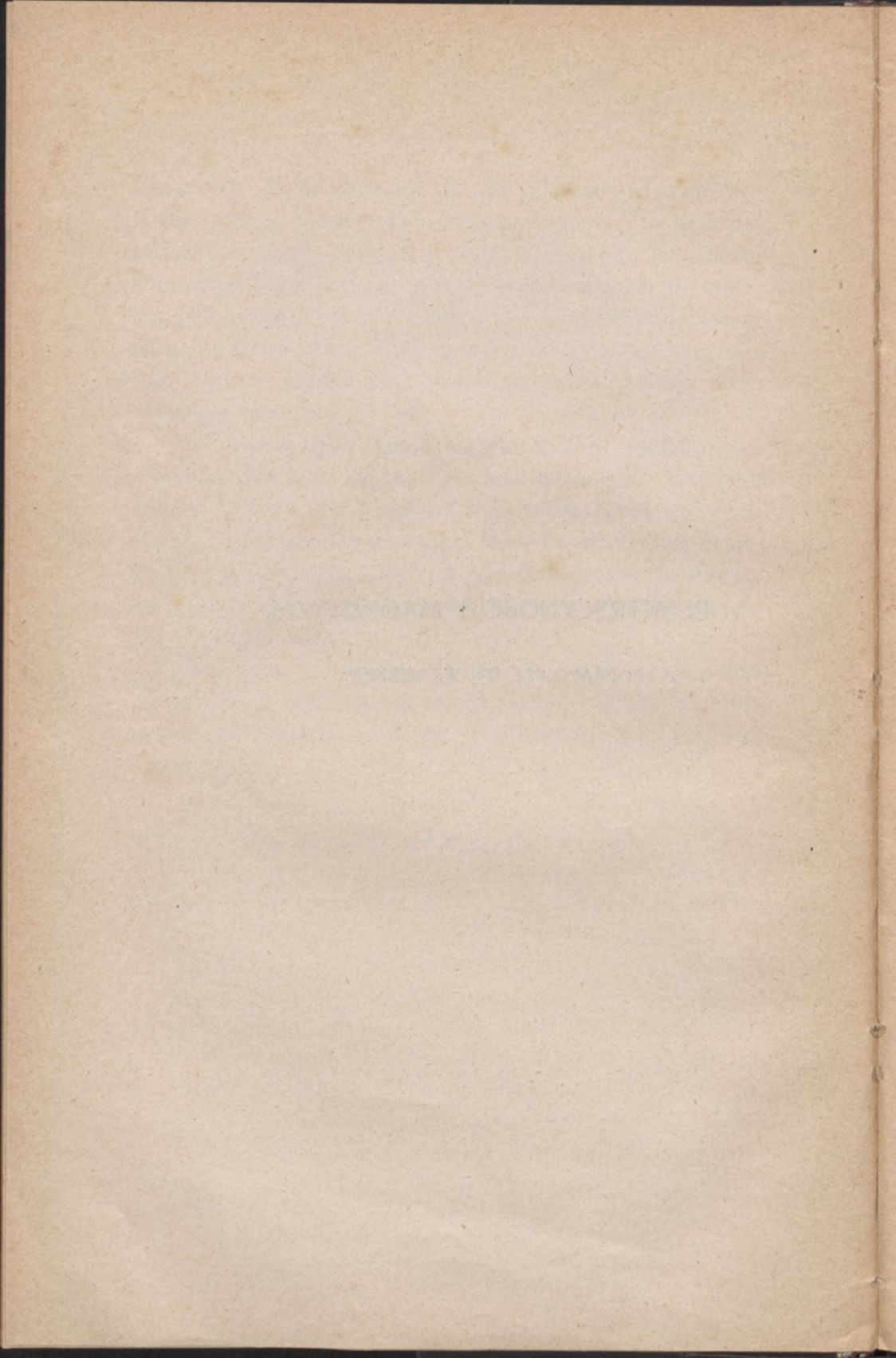
Na istotną lukę naszej książki zwrócił uwagę jeden z recenzentów tomu pierwszego: brak mianowicie krótkiego choćby zarysu teorii atomistycznych materji, a w szczególności teorii kinetycznej gazów. W tomie niniejszym chcieliśmy brak ten usunąć, lecz na przeszkodzie stanęły trudności wydawnicze, związane z powiększeniem i tak już pokazanej objętości książki.

Bylibyśmy szczęśliwi, gdyby praca nasza mogła oddać rzeczywiste usługi czytelnikowi polskiemu i gdyby potrafiła ukazać mu piękno i potęgę myśli ludzkiej — badawczej i twórczej.

Warszawa, w marcu 1914 r.

ELEKTRYCZNOŚĆ I MAGNETYZM.

OPRACOWAŁ DR. W. WERNER.



WSTĘP.

Jedynym zjawiskiem elektrycznym, znanym w starożytności, było przyciąganie lekkich ciał przez potarty bursztyn, odkryte podobno przez Tales'a (około 600 r. przed Chr.); własność tę bursztynu uważano zresztą tylko za szczególny przypadek sił, wywieranych przez kamienie magnetyczne. Inne, podobne pod tym względem do bursztynu ciało odkrył w 300 lat później Teofrast; nie wiemy jednak, co to było.

Wiek średni dostarczył wprawdzie wielu rozpraw o naturze sił magnesów i bursztynu, ale zato ani jednego nowego faktu. Dopiero lekarz nadworny królowej angielskiej Elżbiety, Gilbert, (1540—1603) dostrzegł, że bursztyn nie jest wcale ciałem uprzywilejowanym, lecz że i bardzo wiele innych ciał, jak szkło, siarka, różne smoły i żywice, drogie kamienie i inne posiadają tę samą co i on własność. Działaniu ich nadał Gilbert nazwę sił elektrycznych (elektron znaczy po grecku bursztyn).

Większe ilości elektryczności otrzymał pierwszy Otto v. Guericke (ob. tom I), trąc ręką kulę siarkową, obracaną około osi; on pierwszy obserwował trzask i świecenie przy rozbrojeniu oraz zauważył, że piórko przyciągane, dotknąwszy naelektryzowanej kuli, było następnie przez nią odpychane; faktu tego nie umiał jednak wytłómaczyć. Zarówno Gilbert, jak i Guericke dzielili wszystkie ciała na dwie grupy według tego, czy dadzą się naelektryzować, czy nie. Inny podział, mianowicie na ciała przewodzące oraz izolujące, wprowadził Anglik Stefan Gray († 1736), który też odkrył zjawisko elektryzowania przez wpływ (influcję). Ale dopiero Karol Dufay (1698—1739) dostrzegł związek między przewodnictwem, a możliwością zatrzymywania naboju; elektryzował

też przewodniki, izolując je należycie; on pierwszy otrzymał iskrę elektryczną i dostrzegł, że ciało naelektryzowane może być przez inne ciało naelektryzowane bądź przyciągane, bądź odpychane. Odróżnił więc dwa rodzaje naelektryzowania, które, od ciał użytych do doświadczeń, nazwał naelektryzowaniem szklanem i żywicznym, oraz stwierdził podstawowe prawo elektrostatyki, że ciała naelektryzowane jednoimiennie odpychają się, a różnoimiennie — przyciągają się.

Do połowy XVIII wieku nauka o elektryczności zawierała więc niemal same luźne fakty. W ramę jednolitej teorii ujął te zjawiska dopiero Franklin.

BENJAMIN FRANKLIN.

(1706 — 1790).

Znakomity mąż stanu, pisarz i uczony amerykański urodził się w Bostonie; ojciec jego miał mydlarnię i nie posiadał środków na systematyczne kształcenie syna, który wcześniej już zaczął okazywać niezwykle zamiłowanie do nauki i czytania oraz charakter energiczny, stanowczy i samodzielny. Nauczywszy się czytać niemal bez pomocy, wszystkie swe oszczędności wydawał następnie na kupno książek; a w koloniach amerykańskich książka była wówczas jeszcze rzeczą rzadką. Marzeniem chłopca było zostać marynarzem, to też ćwiczył się usilnie w pływaniu i żeglarstwie; ale te plany nie były na rękę ojcu, który chciał uczynić z niego przemysłowca, a widząc, że do własnego zawodu go nie zachęci, oddał go na naukę do drukarni, którą posiadał drugi jego syn. Tutaj Franklin przebył do 18-go roku życia, ucząc się fachu, ale i kształcąc jednocześnie swój umysł ze spokojnym uporem, który cechował całe jego życie. W tym czasie brat jego przystąpił do wydawania dziennika; dało to Franklinowi sposobność obcowania z wielu wybitnymi ludźmi i przysłuchiwania się dyskusjom na tematy naukowe i polityczne; wkrótce sam spróbował swych sił, a artykuły jego, pomieszczone w dzienniku, zwróciły powszechną uwagę; ale w końcu, dzięki paru ostrym zwrotom przeciwko rządowi, doprowadziły do zamknięcia pisma przez władze angielskie.

Nieporozumienia z bratem skłoniły go do opuszczenia Bostonu; wkrótce znalazł miejsce drukarza w Filadelfii, skąd został wysłany przez gubernatora Pensylwanii do Londynu w celu nabycia przyborów, potrzebnych do założenia pisma. Po szeregu przygód i niepowodzeń, które przezwyciężył dzięki silnej woli i wytrwałości,

powrócił do Filadelfii, gdzie założył własną drukarnię. Zebrawszy grupę ludzi wykształconych, urządził wraz z nimi stałe zebrania, poświęcone dyskusjom nad sprawami nauki i życia; następnie zakupiono dziennik, — i od tej chwili zaczyna szybko wzrastać sława Franklin'a jako publicyisty. Jednocześnie bierze on coraz żywszy udział w życiu miejscowym, dzięki czemu zostaje w r. 1736 członkiem rady prowincjonalnej i dyrektorem poczty; zapoczątkowuje i zakłada szereg pożytecznych instytucji, jak czytelnię i bibliotekę publiczną (pierwszą w Ameryce), straż ogniową, szpital i przytułek dla biednych, drogą składek zbiera fundusze na szkołę wzorową (późniejszy uniwersytet) i t. d.

Na tę epokę przypada też zainteresowanie się Franklin'a zjawiskami elektrycznymi.*) Pomiedzy książkami, przysłanemi do założonej przez niego biblioteki, znajdowała się broszura fizyka angielskiego Watson'a, drukowana w r. 1746, a zawierająca opis nowych doświadczeń z tej młodej podówczas dziedziny badania. Franklin, zapoznawszy się z tą książką, nie tylko powtórzył zawarte w niej doświadczenia, ale obmyślał coraz to nowe, z początku sam, później w towarzystwie Kinnersley'a, Hopkinson'a i Sing'a, mężów, którzy zajęli następnie poważne stanowiska w naukowym świecie angielskim. Na surowym gruncie kolonii, usunięci z pod bezpośredniego wpływu uczonych europejskich, nie mając ani ulepszonych przyrządów, ani nie znając poglądów rozpowszechnionych, badacze amerykańscy szli własnymi drogami, czasem „odkrywając Amerykę po raz wtóry“ (np. wynajdując maszynę elektryczną), lecz zarazem wnosząc świeży, nieuprzedzony pogląd na zjawiska. Na tym gruncie powstała teoria Franklin'a, zakładająca, że elektryczność jest płynem, „ogniem elektrycznym“, zawartym w stanie normalnym we wszystkich ciałach w pewnym określonym stosunku; taka równowaga może być jednak zakłócona; wówczas płyn elektryczny przechodzi z jednego ciała do drugiego; to ostatnie będzie teraz zawierało nadmiar elektryczności, t. j. będzie naelektryzowane dodatnio; pierwsze natomiast będzie miało niedobór—będzie naelektryzowane ujemnie. „*A*, stojąc na wosku i pocierając rurę (szklaną), zbiera ogień elektryczny z siebie do rury; ponieważ połączenie pomiędzy nim a zapasem ogólnym jest przerwane przez wosk, przeto ciało jego nie może być odrazu zaopatrzone nanowo. *B* (stojąc rów-

*) Dalsze szczegóły zaczerpnięto z dzieła P. Benjamin'a: „The intellectual Rise in electricity“. New York, 1898.

niez na wosku), wodząc kłykiem wzdłuż rury, odbiera od niej ogień, zebrany w szkle przez *A*, a ponieważ jego połączenie z ogólnym zapasem jest również przerwane, przeto zatrzymuje pobraną ilość dodatkową. *C*, stojącemu na podłodze, obaj wydają się naelektryzowani; posiadając bowiem średnią ilość ognia elektrycznego, otrzymuje iskrę od *B*, który posiada nadmiar tego ognia, oraz udziela iskrę *A*, który ma niedobór. Jeśli *A* i *B*, zbliżywszy się, dotkną się wzajemnie, to iskra jest silniejsza, gdyż różnica między nimi jest większa“.

Równolegle do dociekań nad naturą zjawisk elektrycznych szły odkrycia doświadczalne; Franklin opisał je w listach do Collinson'a, botanika angielskiego, który je następnie komunikował Towarzystwu Królewskiemu; zbiór tych listów wyszedł potem jako „Doświadczenia Filadelfijskie“. Uwagę Franklin'a zwróciła butelka lejdejska; używano ją wówczas w postaci, jaką jej nadali wynalazcy Kleist i Musschenbroeck: była to butelka napełniona wodą, w której zanurzano drut, przechodzący przez korek butelki; jedyne ulepszenie polegało na oklejeniu butelki zzewnątrz papierem ołwianym; rolę tego przewodnika zewnętrznego odgrywała pierwotnie dłoń, która trzymała butelkę. Franklin odkrył, że butelka jest naelektryzowana wewnątrz i zewnątrz: korek, zawieszony na nici jedwabnej pomiędzy przewodnikami, wiodącymi od obu okładek, waha się między nimi, a przenosząc naboje od jednej okładki do drugiej, stopniowo rozbraja butelkę. Dalej dowiódł Franklin, że siedliskiem naelektryzowania jest szkło, a nie woda, jak to wówczas powszechnie przypuszczano: woda wylana z nabitej butelki nie wykazywała ani śladu elektryczności; po nalaniu świeżej wody butelka dawała iskrę o sile wcale nie zmniejszonej. Okładki, zdaniem Franklina, służą tylko do zbierania elektryczności ze szkła, „do jednoczenia sił części oddzielnych“. Zgodnie z tą teorią można było zmienić kształt butelki i, zamiast naczynia szklanego, użyć płaskiej płyty, pokrytej z obu stron warstewką metalu; taki kondensator otrzymał nazwę płyty Franklin'a. Franklin pierwszy też wprowadził łączenie kondensatorów w szereg i budował silne baterie, z których otrzymywał potężne iskry.

Podobieństwo iskry elektrycznej i błyskawicy zostało już oddawna zauważone i hipoteza, że piorun jest tylko potężnym wyładowaniem elektrycznym pomiędzy chmurą a ziemią, nie była nową; najdobitniej wypowiedział ją fizyk niemiecki Winkler (1703—1770); ale było to tylko przypuszczenie, hipoteza, nie poparta niewątpliwymi faktami.

Zasługą Franklina było wskazanie drogi, na której można było zdobyć potwierdzenie elektrycznej teorii burzy. Najpierw zgrupował Franklin wszystkie cechy, wspólne obu grupom zjawisk. „Płyn elektryczny“, pisze w swym dzienniku z r. 1849, „zgadza się z błyskawicą w następujących szczegółach: 1) Świecenie. 2) Barwa światła. 3) Kierunek zakrzywiony. 4) Chyżość ruchu. 5) Przewodzenie przez metale. 6) Trzask lub szmer przy wybuchu. 7) Istnienie w wodzie lub lodzie. 8) Szarpanie ciał, przez które przechodzi. 9) Zabijanie zwierząt. 10) Topienie metali. 11) Zapalenie materii palnych. 12) Zapach siarkowy“ (zapach ozonu). Należało jeszcze dowieść, że tak podobne do siebie istoty rządzą się jednakowymi prawami, że w tych samych okolicznościach zachowują się w ten sam sposób. Do sprawdzenia tego wydała się Franklinowi odpowiednią znana już dawniej, ale przez niego dokładniej zbadana własność ostrzy. Jeśli ostrze, zbliżone do przewodnika naelektryzowanego, wywołuje w nim stratę naboju, „odciąga elektryczność“, to takie samo działanie powinno wywierać ostrze, zbliżone do chmury, kryjącej piorun w swem łonie. „Jeśli tak jest, to czy znajomość tej władzy ostrzy nie może posłużyć ludzkości do chronienia domów, kościołów, okrętów i t. p. od uderzeń piorunów?...“ Praktyczny umysł wielkiego amerykańczyka od razu przewidział pożyteczne zastosowanie odkrycia, które dopiero w głowie jego istniało. Franklin opisuje doświadczenie, które mogłoby rozstrzygnąć pytanie, czy chmury burzowe zawierają elektryczność.

„Ustawić na szczycie wysokiej wieży lub dzwonnicy rodzaj pudła, dość dużego, aby pomieścić człowieka i podstawę elektryczną (izolującą). Niechaj ze środka statywę wychodzi pręt żelazny, niechaj się zagina tak, aby przejść poza drzwi, niechaj następnie wznosi się do góry na 20 lub 30 stóp, kończąc się silnie zaznaczonym ostrzem. Jeśli podstawę utrzymywać czysto i sucho, to człowiek, stojący na niej podczas przechodzenia nizko takich chmur, może być naelektryzowany i wydzielać iskry, gdyż pręt będzie ściągał doń ogień z chmury“.

Franklin byłby zapewne sam wykonał doświadczenie według podobnego planu, ale cóż, skoro w okolicach Filadelfii nie było dość wysokiego pagórka, a w całej stolicy Pensylwanii — ani jednej wieży, ani nawet domu, wyższego ponad dwa piętra! Wzięto się do zbierania funduszków na dokończenie wieży, którą zaczęto już budować przy kościele, gdy nadeszła wiadomość, że we Francji doświadczenie zostało już wykonane i to z pomyślnym wynikiem.

De Lor, ustawiwszy w r. 1752 pod Paryżem pręt żelazny, zgodnie ze wskazówkami, podanemi przez Franklin'a, wydobyl z pręta potężne iskry podczas nadciągającej burzy.*) Prawie jednocześnie d'Alibard wykonał podobne doświadczenie w samym Paryżu. Innego, bardziej bezpośredniego doświadczenia Franklin dokonał sam; podczas zbliżającej się burzy wypuścił latawca, zaopatrzonego w drut, zastrzony na końcu; latawiec wzniósł się ku chmurom, a gdy deszcz zwilżył nić, na której był trzymany, Franklin zauważył, jak się najeżają luźne włókienka nici; ściągniętą w ten sposób elektrycznością chmur nabijał butelkę i otrzymywał z nią wszystkie te objawy, jakie daje elektryczność, wydobyta z maszyny elektrycznej. Tożsamość elektryczności i „materji piorunowej“ została przez to niezbitnie stwierdzona.

Wypadki polityczne wielkiej wagi, które już parokrotnie odrywały Franklin'a od badań nad elektrycznością, teraz odsunęły go od nich zupełnie i pochłonięły całkowicie. Otoczony czcią i zaufaniem powszechnem, podejmował dwukrotnie podróż do Londynu w celu załatwienia zatargów pomiędzy koloniami, a rządem centralnym. W stolicy Anglii został przyjęty przez świat naukowy i literacki z otwartemi rękami: mianowano go członkiem Królewskiego Towarzystwa Nauk i szeregu innych stowarzyszeń. Tymczasem zatarg kolonialny przybierał postać coraz bardziej zaognioną; Franklin bronił interesów swojej ojczyzny z niezwykłą odwagą i energią; jego spokój, inteligencya i świetna wymowa wywierały potężne wrażenie. Nadaremnie rząd starał się go ułagodzić to gwałtownemi groźbami, to obietnicami i pokusami, — wielki amerykanian na jotę nie odstępował od tego, co uważał za zgodne z interesem swych współobywateli. Po ostatnim jego powrocie do Ameryki nastąpił krok stanowczy: Franklin proklamował niepodległość kolonii amerykańskich. Zaczęła się wielka wojna wolnościowa. Franklin odbył jeszcze jedną podróż do Europy w trudnej misji skłonienia Francji do zawarcia przymierza z nowem państwem. W Paryżu przyjęto go z entuzjazmem. Starzec Voltaire umyślnie przybył do Paryża, aby osobiście poznać znakomitego amerykanina i wprowadzić go na posiedzenie Akademii. Turgot uczcił go znanym wierszem, w którym streścił jego zasługi naukowe i polityczne:

*) Przy podobnem doświadczeniu poniósł śmierć prof. Richman w Petersburgu w r. 1753.

„Eripuit coelo fulmen, sceptrumque tyrannis“...
Niebiosom wydarł pioruny, a berło tyranom.

W stolicy Francji doczekał się Franklin zawarcia pokoju i uznania niepodległości Stanów Zjednoczonych Ameryki Północnej.

Wkrótce po powrocie do Ameryki zmarł w r. 1790, czczony i uwielbiany przez wszystkich, — wielki obywatel Nowego Świata.

Z „Doświadczeń i obserwacji nad elektrycznością, dokonanych
w Filadelfii w Ameryce”.*)

LIST I.

DO P. P. COLLINSON'A
z Tow. Królewskiego w Londynie.

29 lipca 1750 r.

Mniemania i przypuszczenia,

dotyczące własności i działań materji elektrycznej, a wynikające z doświadczeń i obserwacji, wykonanych w Filadelfii w r. 1749.

1) Materja elektryczna składa się z cząsteczek niezmiernie subtelných, ponieważ może przechodzić przez materję zwykłą, nawet przez najgęstsze metale, z taką swobodą i łatwością, że nie doznaje przy tem widocznego oporu.¹⁾

2) Materja elektryczna tem różni się od materji zwykłej, że cząstki ostatniej nawzajem się przyciągają, a cząstki pierwszej nawzajem się odpychają;²⁾ to właśnie powoduje widoczną rozbieżność wpływów elektrycznych.

*) Experiments and observations on Electricity made at Philadelphia in America by Benjamin Franklin; drukowane w Londynie. Tłómaczone z drugiego wydania francuskiego d'Alibard'a, Paryż 1756.

4) Pomimo jednak, że cząsteczki materii elektrycznej odpychają się nawzajem, są one silnie przyciągane przez każdą inną materię...

5) Z tych trzech rzeczy: z nadzwyczajnej subtelności materii elektrycznej, wzajemnego odpychania się jej cząstek i silnego przyciągania pomiędzy nią a innymi materiami, wynika w samej rzeczy, że, jeśli pewnej ilości materii elektrycznej udzielić masie materii zwykłej, o dość znacznej grubości i długości, która jeszcze nie posiada jej we właściwej mierze, to materia elektryczna rozejdzie się natychmiast po całej masie.

6) Materia zwykła jest więc rodzajem gąbki dla płynu elektrycznego; gąbka nie nasiąkałaby wodą, gdyby cząstki wody nie były mniejsze niż pory gąbki; nasiąkałaby powoli tylko, gdyby nie istniało przyciąganie pomiędzy cząstkami wody i cząstkami gąbki; gąbka nasiąkałaby prędzej, gdyby przyciąganie wzajemne pomiędzy cząstkami wody nie stało temu na przeszkodzie, gdyż należy użyć pewnej siły, aby je od siebie odłączyć; wreszcie — nasiąkanie odbywałoby się bardzo szybko, gdyby zamiast przyciągania zachodziło wzajemne odpychanie cząstek wody, które współdziałałoby przyciąganiu przez gąbkę. W tem właśnie położeniu znajdują się: materia zwykła i materia elektryczna.

7. Ale materia zwykła zawiera (mówiąc ogólnie) tyle materii elektrycznej, ile może się pomieścić w jej substancji. Jeśli dodać jej więcej, to nadmiar pozostaje na powierzchni i tworzy to, co nazywamy atmosferą elektryczną³⁾; mówimy wówczas, że ciało jest naelektryzowane.⁴⁾

9) Wiemy, że płyn elektryczny jest zawarty w materii zwykłej, ponieważ możemy wypompować i wypędzać go z niej zapomocą kuli lub rury (szklanej);⁵⁾ wiemy, że materia zwykła zawiera go tyle mniej więcej, ile go może utrzymać, gdyż, jeśli dodamy go nieco do jakiegokolwiek ilości materii, to ta ilość dodana nie wchodzi wewnątrz materii, lecz wytwarza atmosferę elektryczną;³⁾ wiemy wreszcie, że materia

zwykła nie posiada (mówiąc ogólnie) więcej, niż może zawierać, materii elektrycznej, gdyż inaczej cząstki oderwane odpychałyby się wzajemnie, jak to czynią stale, gdy mają atmosferę elektryczną.

— — — — —

Chcąc elektryzować dodatnio lub ujemnie,*) należy tylko wiedzieć, że tarte części kuli lub rury (szklanej) przyciągają podczas tarcia ogień elektryczny, a przeto odbierają go przedmiotowi trącemu.⁵⁾ Gdy tylko tarcie ustaje, części te są gotowe oddać pobrany ogień (elektryczny) każdemu ciału, które go mniej posiada... Można go zbierać na jakim ciele, lub odciągać go od niego, zależnie od tego, czy się go łączy z ciałem trącem, czy z ciałem otrzymującym...⁶⁾

LIST X.

(O zbieraniu elektryczności z chmur zapomocą latawca).

19 października 1752.

W wiadomościach z Europy wspomina się często o powodzeniu doświadczenia filadelfijskiego, które polega na sprowadzaniu ognia elektrycznego z chmur zapomocą prętów żelaznych zastrzonych, umieszczonych na szczytach budynków i t. p. Dla ciekawych nie będzie zapewne niemiłą wiadomością, że to samo doświadczenie udało się wykonać w Filadelfii, w sposób odmienny i łatwiejszy. Oto szczegóły.

Składa się krzyż z dwóch listewek o ramionach dość długich, aby mogły sięgnąć czterech rogów chusty z cienkiego jedwabiu. Gdy chusta jest naciągnięta, przywiązuje się jej rogi do zakończeń krzyża; otrzymuje się w ten sposób korpus latawca. Jeśli mu dodać odpowiedni ogon i nitkę, to wzniesie się tak, jak latawiec papierowy;

*) Ustęp z listu VI, z dnia 1 września 1747 r.

jedwabny jednak nie tak łatwo rozrywa się na wietrze i deszczu podczas burzy. Do szczytu krzyża należy przymocować drut bardzo ostro zakończony, tak, żeby wystawał o stopę lub więcej ponad drzewo. Do końca nitki, blisko ręki, trzeba przywiązać sznur albo taśmę jedwabną, a w miejscu połączenia nitki i jedwabiu umieścić klucz. Puszczą się latawca, gdy nadciąga burza; osoba trzymająca sznur powinna znajdować się w bramie lub w oknie albo pod jakimkolwiek schronieniem, by taśma jedwabna nie zamoczyła się;⁷⁾ należy też zwrócić uwagę, żeby nic nie dotykała ramy okna albo drzwi. Gdy tylko chmura burzowa zbliży się do latawca, drut zacznie ściągać z niej ogień elektryczny, i cały latawiec naelektryzuje się wraz z nitką; niesplecione włókna nitki zaczną się rozprostowywać na zewnątrz na wszystkie strony i będą przyciągane przy zbliżeniu palca, a gdy deszcz zmoczy latawca i nitkę tak, że będą mogły swobodnie przewodzić ogień elektryczny, można spostrzedz, że wyływa on obficie z klucza przy zbliżeniu palca; od tego klucza można nabić butelkę lejdejską, a zebrany w ten sposób ogniem można zapalać ciecze spirytualne i wykonywać z nim wszystkie inne doświadczenia fizyczne, jakie zwykle robi się przy pomocy pocieranej kuli lub rury szklanej; w ten sposób dowodzi się zupełnej tożsamości materii elektrycznej i materii piorunowej.⁸⁾

LIST LIX.

(Opis piorunochronu).*

Doświadczenia nad elektrycznością wkrótce doprowadziły badaczy do przypuszczenia, że materya burzowa i płyn elektryczny są jednym i tem samem. Doświadczenia, jakie następnie dokonano z materyą burzową, ściągniętą z chmur

*) Tłomaczone z książki: „Aus der Werkstatt grosser Forscher“ F. Dannemann'a. Wyd. III. Lipsk 1908 r.

zapomocą zaostrzonych prętów i zebraną w butelkach (lejdejskich), dowiodły, że przypuszczenie to jest zupełnie uzasadnione i że wszystkie własności, jakie musimy przypisać elektryczności, są też własnościami burzy.

Materya burzowa czyli elektryczna jest to płyn nadzwyczaj subtelny, który przenika inne ciała i rozmieszcza się w nich równomiernie.

Jeżeli się zdarzy, że wskutek procesu naturalnego lub sztucznie wywołanego płyn ten znajdzie się w jednym ciele w ilości większej, niż w drugim, to ciało zawierające go więcej, udziela go temu, które go zawiera mniej, póki rozmieszczenie nie stanie się równomiernem — o ile tylko odległość pomiędzy niemi nie jest zbyt wielka; lub też, jeśli jest wielka, — o ile znajdują się przewodniki, mogące przeprowadzić tę materję od jednego ciała do drugiego.

Jeśli udzielanie odbywa się poprzez powietrze, bez udziału przewodnika, widać świetne zjawisko świetne pomiędzy ciałami i słycać przytem szmer. Przy naszych drobnych doświadczeniach nazywamy to światło iskrą elektryczną, a szmer — trzaskiem elektrycznym. Przy wspaniałych, w przyrodzie zachodzących rozbrojeniach światło owe jest tem, co nazywamy błyskawicą, a trzask (powstający jednocześnie, choć zwykle później do nas dochodzący) oraz jego echo — to grzmot.

Jeśli wyrównywanie owego płynu zachodzi przez przewodnik, to może się ono odbywać bez światła i głosu, gdyż subtelny płyn przepływa przez materję przewodnika.

Jeśli przewodnik jest dobry i dość wielki, elektryczność przechodzi przezeń bez szkody dla niego; jeśli nie, to uszkadza go lub nawet niszczy.

Wszystkie metale oraz woda są dobrymi przewodnikami. Inne ciała, jak drzewo i pozostałe materyały, używane do budowli, o ile zawierają pewną ilość wody, mogą przewodzić elektryczność. Jeśli jednak zawierają wody niewiele, to nie są dobrymi przewodnikami i dlatego doznają często uszkodzeń przy rozbrojeniu.

Szkło, wosk, jedwab, wełna, włosie, pióra i zupełnie suche drzewo są nieprzewodnikami, t. j. sprzeciwiają się przejściu elektryczności, zamiast je ułatwiać. Kiedy płyn ten ma do wyboru dwa przewodniki: jeden dobry, jak np. metal, a drugi mniej dobry, to przechodzi do lepszego i idzie za nim we wszelkim kierunku.

Odległość, przy jakiej występuje gwałtowne rozbrojenie ciała nabitego elektrycznością, która przeskakuje przytem na inne ciało, nabite mniej lub wcale, jest różna, zależnie od ilości elektryczności, wielkości i kształtu ciał, a również i od własności znajdującego się pomiędzy ciałami powietrza. Ten odstęp nazywa się dalekością bicia iskry (metą iskrową). Rozbrajanie następuje dopiero wtedy, gdy ciała znajdują się w obrębie odległości bicia iskry.

Chmury zawierają często więcej elektryczności, niż ziemia. W tym wypadku płyn ten opuszcza chmury i uderza w ziemię, gdy tylko chmury znajdują się dość blisko niej, czyli gdy dojdą na odległość bicia iskry, lub też gdy napotkają jaki przewodnik. Jeśli chmura, silnie nabita elektrycznością, zbyt jest wysoko, aby się znaleźć w obrębie mety iskrowej, to przeciąga spokojnie bez zjawisk świetlnych i głosowych; chyba, że napotka inną chmurę, mniej od niej nabitą.

Duże drzewa i wysokie budowle, jak zamki i wieże kościelne, stają się czasem przewodnikami pomiędzy chmurami i ziemią; ale przytem doznają często uszkodzeń, gdyż nie są dobrymi przewodnikami, t. j. nie przepuszczają elektryczności bez przeszkód.

Budowle, posiadające dachy, pokryte ołowiem lub innymi metalami, albo zaopatrzone w metalowe rynny, sięgające, w celu odprowadzenia wody, od dachu aż do ziemi, nie doznają nigdy szkody od piorunu, gdyż ten, napotykając podobny budynek, uderza w metal, a nie w mury.

Jeśli inne budynki znajdują się w obrębie dalekości bicia takich chmur, to elektryczność przechodzi w ściany, bądź to drewniane, bądź ceglane lub kamienne, i nie opuszcza ich, dopóki nie napotka w bliskości lepszych przewodników, jak pręty metalowe, rygle, zawiasy u drzwi i okien,

ramy złożone, rtęć pokrywającą z tyłu zwierciadła, druty od dzwonek, lub żywe istoty; ostatnie są przewodnikami, gdyż zawierają wodniste ciecze. W drodze swojej poprzez dom elektryczność trzyma się kierunku tych przewodników i korzysta z tych wszystkich, które ułatwiają jej przejście, czy to w linii prostej, czy krzywej. Gdy odległość nie jest zbyt wielka, elektryczność przeskakuje z jednego przewodnika na drugi i uszkadza ściany tam tylko, gdzie dobre przewodniki są zbyt od siebie oddalone. Jeśli nazewnątrz domu ustawić pręt żelazny, sięgający czy to w linii prostej, czy wygiętej od najwyższej części bez przerwy aż do wilgotnych warstw ziemi, to pręt ten pochwyci piorun swą częścią górną, przyciągając go tak, że go powstrzyma od uderzenia w inne części i da mu dobrą drogę aż do ziemi. W ten sposób unika się uszkodzenia jakiegokolwiek części budynku.⁹⁾ Znalezione, że mała ilość metalu jest w stanie przewodzić wielkie ilości elektryczności. Drut żelazny, nie grubszy od pióra gęsiego, mógł odprowadzić ilość elektryczności, która na obu jego końcach wyrządziła okropne spustoszenie. Grubsze pręty nie są prawdopodobnie potrzebne, choć w Ameryce robią je zwykle grube na pół, trzy czwarte lub nawet cały cal.

Pręt musi być przytwierdzony do muru, komina i t. d. za pomocą klamer żelaznych. Piorun nie opuści pręta, który jest dobrym przewodnikiem, aby po klamrach przejść do muru, który źle przewodzi elektryczność. Płyn ten, gdyby się go trochę znalazło w murze, przeszedłby raczej do pręta, aby po tym dobrym przewodniku łatwiej dostać się do ziemi.

Gdy budowla jest bardzo duża, można dla większej pewności, wznieść dwa lub więcej prętów w rozmaitych miejscach.¹⁰⁾

Dolny koniec pręta musi być wpuszczony do ziemi tak głęboko, aby mógł dosięgnąć części wilgotnych. Jeśli wtedy pręt zgiąć, poprowadzić go poziomo na odległość sześciu do ośmiu stóp od muru i zapuścić go znów na trzy lub cztery stopy wgłąb, to ochroni on od uszkodzenia kamienie fundamentu.

UWAGI.

¹⁾ (Str. 11). Współczesna teoria elektronów przypuszcza, że elektryczność składa się z atomów, których masa jest blisko 2000 razy mniejsza od masy atomu wodoru; te cząstki, zwane elektronami, poruszają się ze względną swobodą pomiędzy znacznie większymi od nich atomami metalu (ob. rozdz. o „Jonach i elektronach“).

²⁾ (Str. 11). Konsenkwentne przeprowadzenie hipotezy Franklin'a prowadzi do wniosku, że cząstki materii czystej, t. j. pozbawionej zupełnie elektryczności, musiałyby się odpychać; bowiem takie cząstki byłyby naelektryzowane ujemnie, a dwa ciała, naelektryzowane ujemnie, odpychają się nawzajem. Nie przeczy to wcale prawu grawitacyi, gdyż to prawo tyczy się materii zwykłej, t. j. obdarzonej, w myśl teorii Franklin'a, pewną „normalną“ ilością elektryczności.

³⁾ (Str. 12). Dawniejsze teorie tłumaczyły zjawiska, zachodzące w pobliżu ciał naelektryzowanych, istnieniem „atmosfery elektrycznej“; pojęcie to o tyle jest zbliżone do dzisiejszego pojęcia „pola elektrycznego“, że dotyczy przestrzeni, wypełnionej materią izolującą, w której daje się odczuwać wpływ ciała naelektryzowanego; ale atmosferze elektrycznej przypisywano istnienie materialne; przypuszczano nadto, że substancya, składająca ową atmosferę, znajduje się w ruchu, ku lub od ciała naelektryzowanego (Nollet) albo też tworzy wiry (Hauksbee), przez co wywołuje ruch ciał, znajdujących się wewnątrz „atmosfery“. Tem tłumaczono przyciąganie i odpychanie elektryczne. Teoria Franklin'a wyrugowała te nieściśle i mgliste pojęcia. Franklin używa wyrazu „atmosfera“ w odmiennem znaczeniu, rozumiejąc przez to to, co dziś nazywamy nabojem powierzchniowym przewodnika naelektryzowanego.

⁴⁾ (Str. 12). Dodatnio; naelektryzowanie ujemne polega na odciągnięciu od ciała obojętnego pewnej ilości elektryczności (ob. niżej).

⁵⁾ (Str. 13). Szkło, według umowy, wprowadzonej przez Dufay'a, elektryzuje się dodatnio przy potarciu o jedwab lub skórę; pobiera więc nadmiar płynu elektrycznego, odciągając go od ciał

trących, które zatem elektryzują się ujemnie. Ponieważ elektrony są atomami elektryczności ujemnej, więc w myśl teorii współczesnych raczej elektryzowanie ujemne (elektrycznością żywiczną) należałoby uważać za pobieranie, a dodatnie (elektrycznością szklaną) za oddawanie „płynu elektrycznego“.

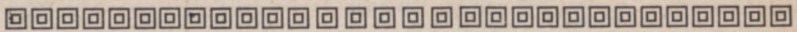
6) (Str. 13). Teorya Franklin'a została całkowicie wyrugowana przez teorię fizyka angielskiego, Roberta Symmer'a (umarł 1863 r.), która zakłada istnienie dwóch płynów elektrycznych: dodatniego i ujemnego, i dziś dopiero odżywa w zmienionym kształcie w teorii elektronów.

7) (Str. 14). Gdyż jedwab wilgotny przewodzi elektryczność.

8) (Str. 14). W późniejszych doświadczeniach Franklin badał znak naboju chmur i przekonał się, że zwykle jest ujemny, zdarzają się jednak i chmury, naelektryzowane dodatnio.

9) (Str. 17). Piorunochron gra inną jeszcze rolę, o której Franklin nie wspomina; ostrze piorunochronu rozprasza nabój, jaki nadciągająca chmura wzbudza na ziemi, zmniejsza przez to napięcie pomiędzy chmurą i ziemią i może zapobiedz uderzeniu piorunu.

10) (Str. 17). Przyjmuje się, że piorunochron chroni skutecznie przestrzeń, zawartą wewnątrz stożka, którego wierzchołek stanowi ostrze piorunochronu, a promień podstawy równa się jego wysokości.



KAROL AUGUST COULOMB.

(1736 — 1806).

Coulomb odebrał wykształcenie techniczne; był początkowo inżynierem wojskowym i w tym charakterze przebył 3 lata na Martynicy przy budowie fortyfikacji. Zajmowała go już wówczas naukowa strona prac inżynierskich, jak to widać z tytułów dwóch jego obszernych rozpraw, wydanych po powrocie do Francji: „Zagadnienia statyki w zastosowaniu do budownictwa“ i „Teorya machin prostych, obejmująca zjawiska tarcia i sztywności lin“. Ta druga praca stanowi już przejście do badań ściśle fizycznych, które zajęły mu dalsze lata życia; były to pierwsze dokładne prace nad tarciem, które do tego czasu mechanicy traktowali jako zjawisko zakłócające, nie dające się ująć ilościowo. Coulomb stwierdził proporcjonalność tarcia dwóch ciał do ciśnienia całkowitego, a niezależność od wielkości powierzchni tarcia i od szybkości; ostatniego wniosku nie potwierdziły dalsze badania. Badał też lepkość cieczy oraz siłę skręcenia drutu metalowego, obserwując wahania zawieszzonego na nim krążka. Stwierdzenie proporcjonalności pomiędzy siłą sprężystą a kątem obrotu nasunęło mu myśl zbudowania na tej zasadzie niezmiernie czułej wagi dla mierzenia drobnych sił. Ta t. zw. waga Coulomb'a posłużyła mu następnie do jego kapitalnego odkrycia. Prawo grawitacyi Newton'a, zdobywające sobie coraz większą popularność, pozwalało przypuszczać istnienie analogicznego prawa dla sił elektrycznych; doświadczenia Coulomb'a potwierdzały to prawo ze ścisłością, na jaką pozwalały jego przyrządy. Dokładność ta była zbyt mała, szczególnie gdy szło o sprawę pierwszorzędnej wagi, i choć od tego czasu udoskonalono znakomicie metody pomiarów elektrycznych, to jednak najściślejszy dowód prawa Coulomb'a opiera się nie na pomiarach bezpośrednich, lecz na konsenkwencyi, którą już Coulomb ze swego prawa

wyprowadził; mianowicie, jeśli przyjmiemy prawo Coulomb'a za słuszne, to elektryczność będzie mogła utrzymać się w przewodniku tylko na jego powierzchni. Coulomb sprawdził ten wniosek doświadczalnie; przed nim jednak dokonał tego samego Cavendish (w r. 1772). Badania tego uczonego, który pracował tylko dla siebie i prac swoich nie ogłaszał, stały się znane dopiero po wydaniu jego pism przez Maxwell'a. Cavendish dowiódł, odwrotnie, że fakt pozostawania naboju na powierzchni przewodnika prowadzi do prawa Coulomb'a i wyliczył na podstawie swoich doświadczeń, że, jeśli siła zmienia się odwrotnie proporcjonalnie do r^{2+q} , to q nie może być większe od 0,02. Inny ważny i ściśle sprawdzony wniosek z prawa Coulomb'a głosi, że równomiernie naelektryzowana kula działa na nabój umieszczony zewnątrz niej tak, jak gdyby cały nabój kuli był skupiony w jej środku geometrycznym. Coulomb posiłkuje się tą zależnością w swej drugiej rozprawie o elektryczności (ob. str. 28). Coulomb został w r. 1782 członkiem Akademii; był też jednym z pierwszych członków założonego przez rząd republikański Instytutu (Institut de France).¹⁾ O sile jego charakteru świadczy następujący fakt: gdy w Bretanii planowano przeprowadzenie całej sieci kanałów, Coulomb został wysłany jako komisarz królewski dla zbadania tej sprawy; plany wywołały z jego strony ostrą krytykę, która pociągnęła za sobą uwięzienie go przez władze miejscowe; to jednak ani na jotę nie zmieniło jego opinii, a tą wytrwałością swoją i stanowczością wywalczył posłuch dla swego zdania.

Tłómaczenie nasze zawiera wyjątki z dwóch pierwszych z ogólnej liczby siedmiu rozpraw o elektryczności, przedstawionych przez Coulomb'a Akademii.

Rozprawa pierwsza o elektryczności i magnetyzmie.

Budowa i zastosowanie wagi elektrycznej, opartej na tej właściwości drutów, że ich siła skręcenia jest proporcjonalna do kąta skręcenia. *)

Określenie doświadczalne prawa, według którego odpychają się wzajemnie elementy ciał naelektryzowanych jednakowo.

W rozprawie, przedstawionej Akademii w r. 1784, określiłem na podstawie doświadczeń prawa, rządzące siłą skręcenia drutu i znalazłem, że siła ta była w stosunku prostym do kąta skręcenia i do czwartej potęgi średnicy drutu, a w stosunku odwrotnym do jego długości; przytem należało to wszystko pomnożyć przez stały współczynnik, zależny od natury metalu i dający się łatwo określić doświadczalnie.

W tej samej rozprawie wykazałem, że przy pomocy tej siły skręcenia można było mierzyć bardzo drobne siły z dokładnością np. do jednej dziesięciotysięcznej grana...²⁾)

Dziś przedstawiam Akademii wagę elektryczną, zbudowaną na tych samych zasadach; mierzy ona z największą dokładnością stan elektryczny i siłę elektryczną ciała, choćby stopień naelektryzowania był dowolnie mały.

Budowa wagi.

Jakkolwiek doświadczenie nauczyło mnie, że dla dogodnego wykonania wielu pomiarów elektrycznych należało

*) Histoire et Mémoires de l'Academie royale des sciences 1785. Przekład z tłumaczenia niemieckiego Königa w Ostwald's Klassiker № 13.

poprawić niektóre braki pierwszej tego rodzaju wagi, którą kazałem wykonać, opiszę ją jednak, gdyż dotąd jest jedyną, jaką się posługiwałem; zauważę wszakże, że jej kształt i wielkość mogą i muszą być zmieniane, w zależności od rodzaju doświadczeń, które zamierzamy wykonać. Fig. 1 przedstawia perspektywnie tę wagę, której szczegóły są następujące.

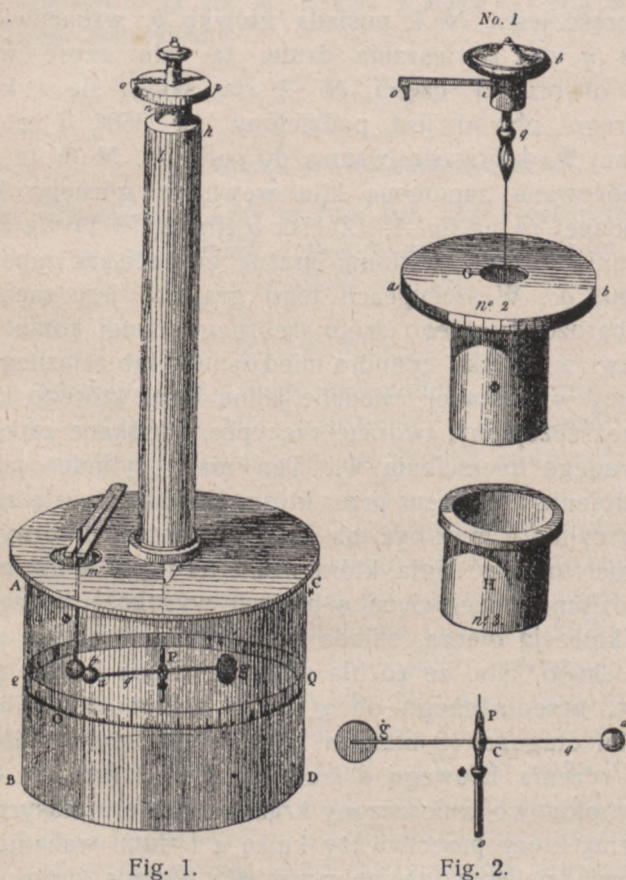


Fig. 1.

Fig. 2.

Waga skręceń Coulomb'a.

Na cylinder szklany ABCD, o 12 calach średnicy i 12 calach wysokości, nakłada się płytę szklaną o 13 calach średnicy, która całkowicie zakrywa cylinder; w płycie tej są wy-

wiercone dwa otwory o średnicy mniej więcej 20 linii; jeden z nich znajduje się w środku, w f ; nad nim wznosi się rura szklana 24 cale wysoka; rura jest przytwierdzona do otworu f zapomocą kitu, używanego zwykle do przyrządów elektrycznych; na górnym końcu rury, w h , umieszczono mikrometr do mierzenia skręceń, którego szczegóły pokazuje fig. 2. Górna część jego, № 1, posiada główkę b , wskazówkę io i zacisk q do zawieszania drutu; ta cała część wsuwa się do otworu G części № 2; ta składa się z krążka ab , którego obwód jest podzielony na 360° , i z rurki miedzianej Φ , którą się wsuwa do rurki H , № 3; ta rurka jest umocowana zapomocą kitu wewnątrz górnego końca rury szklanej fh na fig. 1. Zacisk q (fig. 2, № 1) ma kształt zakończenia dużego grafionu; można go zaciskać zapomocą pierścienia q . W szczytach tego grafionu jest zaciśnięty koniec bardzo cienkiego drutu srebrnego; drugi koniec tego drutu tkwi w zacisku cylindra miedzianego lub żelaznego Po , o średnicy wynoszącej zaledwie jedną linię, którego koniec P jest rozszczepiony, tworząc szczypcę, zaciskane zapomocą przesuwanego pierścienia Φ . Ten mały cylinder posiada w C zgrubienie z otworem, przez który przesuwają się igłę ag ; ciężar tego cylindra musi być tak duży, aby napiąć srebrny drut, ale go nie rozerwać. Igła, którą widać na fig. 2 w ag , zawieszona poziomo, mniej więcej w połowie wysokości dużego naczynia, które ją otacza, składa się z nitki jedwabnej, pociągniętej lakiem, albo ze źdźbła słomy, również lakiem pociągniętego, przedłużonego od g do a zapomocą cylinderka z szellaku długości 18 linii; na końcu a tej igły znajduje się kulka z rdzenia bżowego o średnicy 2 do 3 linii, na końcu g —mały, pionowo umieszczony krążek z papieru, nasyconego terpentyną, który przeciwważy kulkę a i tłumy wahania igły.

Powiedzieliśmy, że pokrywa AC posiada drugi otwór w m ; przez ten drugi otwór wprowadza się mały cylinder $m\Phi t$, którego dolna część Φt jest zrobiona z szellaku; w t znajduje się również kulka z rdzenia bżowego; wkoło naczynia, na wysokości igły, jest umieszczone koło zQ , podzielone na 360 stopni; dla większej prostoty posługujemy się pas-

kiem papierowym, podzielonym na 360° , którym oklejamy naczynie dokoła, na wysokości igły.

W celu przygotowania wagi do użytku ustawia się otwór m ponad początkiem skali cylindra, na tę samą podziałkę nastawia się kulkę a ; wskazówka oi powinna przytem stać na zerze podziałki mikrometru; przez otwór m wsuwa się drugą kulkę na drucie $m\Phi t$, tak aby się stykała z kulką a i przypadała na początek skali cylindra.

Zasadnicze prawo elektryczności.

Sila odpychania dwóch małych kul, naelektryzowanych jednakowo, jest w stosunku odwrotnym do kwadratu odległości środków obu kul.

Doświadczenie.

Elektryzuje się mały przewodnik, zrobiony poprostu ze szpilki o dużym łebku, izolowanej w ten sposób, że ostrze jej jest wbite w koniec luku; tę szpilkę wprowadza się przez otwór m i dotyka kulki t , która ze swej strony pozostaje w zetknięciu z kulką a ; po usunięciu szpilki obie kulki posiadają jednakowe naboje elektryczne i odpychają się nawzajem, póki się nie oddalą na odległość, którą mierzymy, celując poprzez drut zawieszenia i środek kulki a w odpowiadającą im podziałkę koła zOQ ; następnie, obracając wskazówkę mikrometru w kierunku pno , skręcamy drut lP i wywołujemy siłę, proporcjonalną do kąta skręcenia, dążącą do zbliżenia kulki a do kulki t . W ten sposób obserwuje się odległości, na jakie różne kąty skręcenia zbliżają kulkę a do kulki t , a porównywując siły skręcenia z odpowiadającymi im odległościami obu kulek, otrzymujemy prawo odpychania.

Przytoczę tu tylko parę łatwych do powtórzenia doświadczeń, które niezwłocznie wykazują prawo odpychania.

Doświadczenie pierwsze: Po naelektryzowaniu obu kulek zapomocą łebka szpilki, kulka a igły oddaliła się od kulki t o 36° , a wskazówka mikrometru stała na zerze.

Doświadczenie drugie: Po skręceniu drutu zawieszenia o 126° zapomocą mikrometru, kulki zbliżyły się do siebie tak, że w końcu były oddalone od siebie o 18° .

Doświadczenie trzecie: Po skręceniu drutu zawieszenia o 567° , kulki zbliżyły się na odległość $8\frac{1}{2}^\circ$.

Objaśnienie i wyniki tych doświadczeń.

Dopóki kulki nie są jeszcze naelektryzowane, stykają się z sobą, a środek kulki a , umocowanej na igle, jest oddalony zaledwie o pół średnicy obu kulek od tego punktu, w którym skręcenie drutu zawieszenia jest równe zeru. Należy zaznaczyć, że srebrny drut lP , służący do zawieszania, miał 28 cali długości a był tak cienki, że stopa jego ważyła tylko $\frac{1}{16}$ grana... Przekonałem się, że siła $\frac{1}{340}$ grana, działając na ramię dźwigni aP o długości 4 cali, wystarcza do skręcenia tego drutu o 360° .

Przy pierwszym z naszych doświadczeń, kiedy wskazówka mikrometru stoi na punkcie 0, widzieliśmy, że kulki są oddalone o $36^\circ = \frac{1}{3400}$ grana; przy drugim doświadczeniu odległość kulek wynosi 18° , a że mikrometr został jednocześnie obrócony o 126° , więc wynika stąd, że przy odległości 18° siła odpychania wynosiła 144° ; zatem przy połowie pierwotnej odległości odpychanie jest cztery razy większe.

Przy trzecim doświadczeniu drut zawieszenia skręcono o 567° , a kulki znajdowały się już tylko w odległości $8\frac{1}{2}^\circ$. Całkowite skręcenie wynosiło zatem 576° , cztery razy więcej, niż przy drugim doświadczeniu; do tego zaś, aby odległość kulek w drugim doświadczeniu została w trzecim sprowadzona do połowy, brakło tylko pół stopnia. Wynika więc z tych trzech doświadczeń, że działanie odpychające, wywierane wzajemnie przez dwie kulki naelektryzowane jednakowo, jest w stosunku odwrotnym do kwadratów odległości...

.

Uwaga trzecia.

Elektryczność obu kulek zmniejsza się nieco w czasie trwania doświadczenia; przekonałem się, że w dniu, w którym wykonałem przytoczone doświadczenia, naelektryzowane kulki, znajdując się pod wpływem odpychania w odległości 30° od siebie, zbliżały się o jeden stopień co trzy minuty przy kącie skręcenia, wynoszącym 50° ; ponieważ zaś potrzebowałem tylko dwóch minut na wykonanie powyższych doświadczeń, przeto błąd, pochodzący ze straty elektryczności, można tutaj zaniedbać...

Uwaga trzecia.

Odległość kulek, oddalonych od siebie wskutek wzajemnego odpychania, mierzy się ściśle nie kątem, jaki tworzą, lecz cięciwą łuku, łączącego ich środki; również i ramię dźwigni, do końca którego przyłożona jest siła, mierzy się nie połową długości igły lub promieniem, lecz dostawą połowy kąta pomiędzy obu kulkami; jedna z tych wielkości jest mniejszą niż łuk i przez to zmniejsza odległość, mierzoną łukiem, podczas gdy druga zmniejsza ramię dźwigni; obie więc wyrównywują się w pewnej mierze i przy tego rodzaju doświadczeniach, jak te, co nas zajmują, można się zadowolić bez wielkiego błędu podaniem przez nas obliczeniem, o ile odległość kulek nie przekracza 25° do 30° : w przeciwnym razie należy obliczenie przeprowadzić ściśle...³⁾

Uwagi pierwsza i czwarta dotyczą drobnych ulepszeń wagi oraz trudności odczytania położenia igły wskutek jej wielkiej ruchliwości.

Rozprawa druga o elektryczności i magnetyzmie,

w której zostają wykryte prawa, rządzące działaniem tak odpychającym, jak i przyciągającym płynów magnetycznych i elektrycznych.

Ponieważ waga elektryczna, którą przedstawiłem Akademii w lipcu r. 1785, mierzy dokładnie, a w sposób prosty i bezpośredni, odpychanie dwóch kul, obdarzonych jednakowo naelektryzowaniem, łatwo więc było dowieść, posiadając się tą wagą, że siła odpychająca dwóch jednakowo naelektryzowanych, a w rozmaitych odległościach znajdujących się kul, odpowiada bardzo dokładnie odwrotnemu stosunkowi kwadratów odległości; skoro jednak chciałem użyć tego samego sposobu do określenia siły przyciągającej kulek nabitych elektrycznością przeciwną, natknąłem się... na niedogodność, która przy pomiarach odpychania nie występuje. Owa trudność praktyczna polega na tem, że, podczas zbliżania przyciągających się kulek, siła przyciągania, która jak to zaraz zobaczymy, zwiększa się w stosunku odwrotnym do kwadratu odległości, wzrasta często szybciej, niż siła skręcenia, która jest proporcjonalna tylko do kąta skręcenia; dopiero po wielu bezskutecznych próbach udaje się zapobiedz zetknięciu się kulek wskutek przyciągania, o ile się nie postawi ruchowi igły przeszkody idioelektrycznej...⁴⁾

.....

Druga metoda doświadczalna, służąca do określenia prawa, według którego kula, o śred-

nicy jednej lub dwóch stóp, przyciąga drobne ciało, obdarzone nabojem elektrycznym, odwrotnym względem naboju kuli.

Metoda... polega na tem, że zawieszają się poziomo igłę, naelektryzowaną tylko na końcu; jest ona przyciągana przez kulę przeciwnie naelektryzowaną, ustawioną w pewnym od niej oddaleniu, i waha się pod wpływem tego przyciągania; z liczby wahań, wykonanych w określonym czasie, oblicza się siłę przyciągającą w różnych odległościach, podobnie jak się określa siłę ciężkości z wahań zwykłego wahadła.

Nitka z kokonu jedwabnego ma tak małą siłę skręcenia, że jej wpływ na wahania może być zaniedbany nawet przy drobnych siłach działających.

Na nitce jedwabnej sc (fig. 3) z pojedynczego włókna, jakie się otrzymuje przy rozwijaniu kokonu, zawieszają się igłę szellakową lg ; na końcu l umieszcza się, prostopadłe do igły, lekki krążek o średnicy 8 do 10 linii, wycięty z arkusza złotego papieru; nitka jedwabna jest przymocowana w s do dolnego końca pręta drewnianego st , wysuszonego w piecu i pokrytego szellakiem; pręt ten jest trzymany w t przez zacisk, który można przesuwając wzdłuż ramienia oE i przytwierdzać w dowolnym miejscu za pomocą śruby V ; G jest kulą miedzianą lub tekturową, pokrytą cynfolią; spoczywa ona na czterech słupkach szklanych, pokrytych lakiem i zakończo-

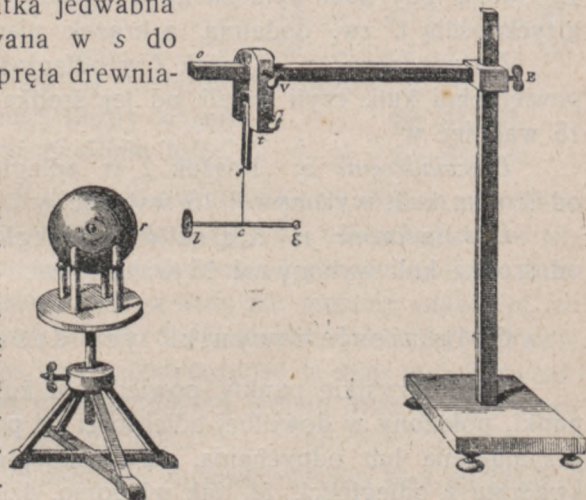


Fig. 3.

czterech słupkach szklanych, pokrytych lakiem i zakończo-

nych, w celu lepszej izolacji, prętami z laku 3 do 4 cali długości... Po przygotowaniu wszystkiego w opisany sposób, kulę G ustawia się tak, aby jej średnica G_r była na tej samej wysokości, co i środek krążka l , oddalonego od niej o parę cali. Zapomocą butelki lejdejskiej przepuszcza się iskrę elektryczną na kulę i dotyka się krążka l ciałem przewodzącym; działanie naelektryzowanej kuli na płyn elektryczny nienaelektryzowanego krążka udziela krążkowi naboju przeciwnego, niż nabój kuli; tak, że po usunięciu przewodnika kula i krążek działają na siebie przyciągająco.

Doświadczenie.

Kula G miała stopę w średnicy, krążek l miał 7 linii, igła szellakowa lg 15 linii długości; nitka zawieszon sc była nitką jedwabną o długości 8 linii; gdy zacisk znajdował się w punkcie o , krążek l dotykał kuli w r , a w miarę odsuwania zacisku ku E krążek oddalał się o długości równe 0, 3, 6, 9, 12 calom; gdy kula była nabita w sposób przytoczony elektrycznością t. zw. dodatnią, a krążek ujemną, otrzymano:

Doświadczenie 1. Krążek l w odległości 3 cali od powierzchni kuli, czyli 9 cali od jej środka wykonywał 15 wahnięć w 20''

Doświadczenie 2. Krążek l w odległości 18 cali od środka kuli, wykonywał 15 wahnięć w 41''

Doświadczenie 3. Krążek l w odległości 24 cali od środka kuli wykonywał 15 wahnięć w 60''

Objaśnienie i wyniki tych doświadczeń.

Jeśli wszystkie punkty powierzchni kulistej działają na punkt, położony w dowolnej odległości od powierzchni, z siłą przyciągania lub odpychania, odwrotnie proporcjonalną do kwadratu z odległości, to, jak wiadomo, działanie jest takie same, jakgdyby cała powierzchnia kuli była skupiona w środku kuli.

Ponieważ nadto przy naszym doświadczeniu krążek l ma tylko 7 linii w średnicy, a najmniejsza jej odległości od

środku kuli wynosiła 9 cali, więc można bez znacznego błędu uważać wszystkie linie, idące od środka kuli do punktów krążka, za równoległe i równe sobie; z tej racji możemy przyjąć, że całe działanie krążka skupia się w jego środku, podobnie jak działanie kuli; więc przy małych wahanich igły działanie, podtrzymujące te wahania, będzie wielkością stałą przy danej odległości i będzie działało w kierunku, łączącym oba środki. Jeśli teraz oznaczymy siłę przez φ , a czas określonej liczby wahań przez T , to T będzie odwrotnie proporcjonalne do $\sqrt{\varphi}$:⁵⁾ ale jeśli d jest odległością Gl środka kuli od środka krążka i jeśli siły przyciągające są proporcjonalne do odwrotności kwadratu odległości, czyli do $1/d^2$, to wynika, że T będzie proporcjonalne do d czyli do odległości,⁶⁾ więc, jeśli w doświadczeniach naszych będziemy zmieniali odległość, to czasy jednej i tej samej liczby wahań powinny tak się mieć do siebie, jak odległości środka kuli od środka krążka. Porównajmy tę teorię z doświadczeniem:

<i>Doświadczenie 1.</i>	Odległość	środków	9 cali,	15 wahań	w 20''
<i>Doświadczenie 2.</i>	"	"	18 "	" "	" " 41''
<i>Doświadczenie 3.</i>	"	"	24 "	" "	" " 60''

Odległości mają się do siebie jak liczby 3, 6, 8.

Czasy tej samej liczby wahań 20, 41, 60.

Według teorii powinno być 20, 40, 54.

Zatem w tych trzech doświadczeniach różnica pomiędzy teorią i doświadczeniem wynosi $1/10$ dla ostatniego doświadczenia w porównaniu z pierwszym, a prawie zero dla drugiego w porównaniu z pierwszym; ale musimy zauważyć, że do wykonania tych trzech doświadczeń trzeba było prawie 4 minut czasu i że, choć elektryczność w dniu tych doświadczeń trzymała się dość długo, to jednak traciła $1/40$ swego działania w przeciągu minuty...

Odpowiednio obliczona poprawka redukuje błąd do połowy, gdyż daje dla ostatniego doświadczenia 57'' zamiast 54''.

Doszliśmy więc zapomocą metody zupełnie odmiennej od pierwszej do wyników zgodnych z pierwotnymi; możemy więc wyprowadzić stąd wniosek, że przyciąganie wzajemne

płynu elektrycznego, oznaczonego jako dodatni, oraz płynu t. zw. ujemnego jest odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości...

Doświadczenia, służące do określenia prawa, według którego płyn magnetyczny działa przyciągająco lub odpychająco.

Ponieważ ciała namagnesowane działają na siebie w skończonych odległościach przyciągająco lub odpychająco, tak jak ciała naelektryzowane, więc wydaje się, że płyn magnetyczny jest analogiczny do płynu elektrycznego, jeśli nie co do swej natury, to przynajmniej pod wymienionym względem; a zgodnie z tą analogią można przypuścić zgóry, że oba płyny działają według tych samych praw...

Przy tych nowych badaniach używaliśmy dwóch metod, aby znaleźć doświadczalnie, według jakiego prawa działa płyn magnetyczny. Pierwsza z tych metod polega na tem, że zawiesza się igłę magnetyczną, zbliża do niej w płaszczyźnie jej południka inną igłę w odpowiednim położeniu, i określa rachunkiem i przez obserwacje, z jaką siłą płyn magnetyczny jednej igły działa na płyn drugiej w rozmaitych odległościach. Przy drugiej metodzie posługiwaliśmy się wagą magnetyczną, podobną zupełnie do naszej wagi elektrycznej, opisanej w pierwszej rozprawie...

Opis wagi magnetycznej.

Kazałem sporządzić skrzynkę kwadratową o długości krawędzi równej 3 stopom, a wysoką na 18 cali (fig. 4); deski były łączone tylko zapomocą czopów, wrębów i kołeczków drewnianych. O 9 cali nad dnem umieszczono poziomy krąg z bardzo suchego drzewa lub z miedzi, o średnicy 2 stóp 10 cali, podzielony jak zwykle na 360°. Na tę skrzynkę nałożono poprzeczkę AB , od której środka wznosi się rura id , długości 30 cali, zakończona w d mikrometrem, podobnym do opisanego przy wadze elektrycznej. Zacisk mikrometru utrzymuje koniec drutu mosiężnego... Dolny koniec tego drutu

tkwi w szczypcach podwójnych, w kształcie grafionu... Dolny koniec przytrzymuje pierścień ołowiany lub miedziany; ten pierścień przeznaczony jest do umieszczenia w nim igły magnetycznej, z którą zamierza się wykonać doświadczenia.

Przytoczymy tu te tylko doświadczenia i wyniki, które są nam niezbędne do wyprowadzenia (poszukiwanego) prawa...

***Wynik pierwszy.** Siła wypadkowa wszystkich sił magnetycznych, jakie kula ziemską wywiera na każdy punkt igły magnetycznej, jest wielkością stałą, skierowaną równoległe do południka magnetycznego i przechodzi zawsze przez ten sam punkt igły, niezależnie od położenia igły względem południka...*

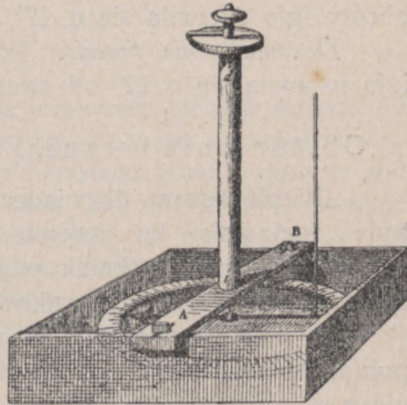


Fig. 4. Waga magnetyczna.

Zastosowanie wagi magnetycznej do znalezienia prawa, według którego działają na siebie cząsteczki magnetyczne w różnych odległościach.

Namagnesowano drut z dobrej stali, długości 24 cali o przekroju $1\frac{1}{2}$ linii i zawieszono go poziomo w naszej wadze; najpierw określono, z jaką siłą magnetyzm ziemski utrzymywał tę igłę w południku, i znaleziono, że potrzeba siły skręcenia prawie o 35° , aby igłę wyprowadzić o 1° z jej południka magnetycznego. Następnie ustawiono drugi drut takich samych rozmiarów pionowo w płaszczyźnie południka w odległości 11 cali 2 linii od środka zawieszenia pierwszej igły, umieszczając koniec drutu mniej więcej o cal poniżej poziomu igły wiszącej...⁷⁾

Doświadczenie.

Doświadczenie pierwsze. Igła, wisząca poziomo bez skręcenia drutu zawieszenia została odepchnięta i ustawiła się o 24° od południka magnetycznego.

Doświadczenie drugie. Po skręceniu (drutu) o trzy obroty igła ustawiła się o 17° od południka magnetycznego.

Doświadczenie trzecie. Po skręceniu o osiem obrotów igła ustawiła się o 12° od swego południka magnetycznego.

Objaśnienie i wyniki tego doświadczenia.

...W pierwszym doświadczeniu igła, wychylona o 24° , była pociągana ku swemu południkowi z siłą 840° ;⁸⁾ ponieważ jednak, wskutek odpychania igieł, drut zawieszony był skręcony o 24° , więc całkowite odpychanie wynosiło 864° .

Przy drugim doświadczeniu igła ustawiła się o 17° od południka magnetycznego; była więc pociągana przez działanie magnetyzmu ziemskiego ku temu południkowi z siłą 595° . Ale skręcenie, które je utrzymywało w tej odległości, wynosiło 3 obroty $+17^{\circ}$; ponieważ ta siła skręcenia działała w tym samym kierunku, co i siła magnetyzmu ziemskiego, więc działanie obu biegunów igieł mierzy się liczbą 1692° ...

Tak samo oblicza się dla trzeciego doświadczenia siłę odpychania równą: $2880^{\circ} + 12^{\circ} + 12 \times 35^{\circ} = 3312^{\circ}$.

Zatem w doświadczeniach naszych, w których odległości były 24, 17, 11, odwrotności kwadratów odległości są dane przez liczby $\frac{1}{576}$, $\frac{1}{289}$, $\frac{1}{144}$, których stosunek jest blizki stosunku liczb $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1. Ale dla odpowiednich sił odpychających doświadczenie dało 864, 1692, 3312, które też są w stosunku blizkim liczb $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1. Jeśli przypuścimy, że cały płyn magnetyczny jest skupiony w odległości 10 linii od końca naszej 24-calowej igły, to wynika, że siła odpychająca płynu magnetycznego jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości...

Wpływ biegunów przeciwnych może być zaniedbany wobec znacznej długości igieł. Zapomocą wagi skręceń można też dowieść, że płyn magnetyczny jest istotnie skupiony blisko końców, gdyż w bliskości tych miejsc odpychanie jest największe, a więc i gęstość magnetyczna największa; bliżej środka magnesu gęstość słabnie bardzo szybko.

Rozprawy Coulomb'a są pierwszymi próbami ścisłych pomiarów elektrycznych i magnetycznych; są też doskonałym wzorem pracy doświadczalnej; każde przypuszczenie, służące za podstawę do wyprowadzania wniosków, jest sprawdzone doświadczeniem; wszelkie możliwe źródła błędu są wzięte pod uwagę; chęć uwzględnienia wszystkich szczegółów czyni nawet styl autora ciężkim i rozwlekłym. Choć przyrządy elektryczne i magnetyczne uległy znacznym udoskonaleniom, to jednak podstawowe metody badań Coulomb'a do dziś nie straciły na wartości (ob. uw. 2).

UWAGI.

¹⁾ (Str. 21). Instytut Narodowy, później nazwany Instytutem Francuskim, został stworzony przez Konwent w r. 1795, w celu zastąpienia wszystkich akademii, założonych za panowania królów francuskich; podzielono go na trzy sekcye, których liczbę pomnożono później do pięciu; za panowania Ludwika XVIII sekcjom przyznano tytuły Akademii; obecnie Instytut obejmuje wszystkie pięć istniejących we Francji Akademii.

²⁾ (Str. 22). Dla zorientowania się w wielkościach podajemy stosunek miar starofrancuskich do metrycznych:

1 Stopa = 12 cali = 144 linii = 32,48 cm.

1 gran = 0,0531 grama.

Budowę i czułość współczesnych wag Coulomb'a ob. w pracy Lebediewa, zawartej w tym tomie.

³⁾ (Str. 27). Jeśli l oznacza długość ramienia mP , α kąt odchylenia, d odległość obu kulek



Fig. 5.

(ob. fig. 5), to moment siły f , działającej na kulkę t wzdłuż prostej d , będzie $M = fk = fl \cos \frac{\alpha}{2}$. Odległość $d = 2l \sin \frac{\alpha}{2}$; po rozwinięciu w szeregi otrzymamy:

$$M = fl \left(1 - \frac{\alpha^2}{8} + \frac{\alpha^4}{384} - \dots \right); \quad d = l\alpha \left(1 - \frac{\alpha^2}{24} + \frac{\alpha^4}{1920} - \dots \right).$$

Coulomb ogranicza się do pierwszych wyrazów tych szeregów.

Pomiędzy możliwymi źródłami błędów autor nie wymienia jednego: zmiany rozkładu naboju w kulkach pod wpływem indukcji wzajemnej.

4) (Str. 28). Ob. Galvani, uw. 1.

5) (Str. 29). Wzór dla wahadła matematycznego możemy napisać:

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} = \pi \sqrt{\frac{lm}{gm}} = \pi \sqrt{\frac{lm}{P}},$$

gdzie m oznacza masę, a P ciężar punktu materialnego, czyli siłę z jaką punkt ten jest przyciągany przez ziemię; zastępując P przez φ , t. j. przez siłę, z jaką w doświadczeniu Coulomb'a krążek l jest przyciągany przez kulę naelektryzowaną, otrzymamy:

$$T = \pi \sqrt{\frac{lm}{\varphi}} = c \sqrt{\frac{1}{\varphi}},$$

gdzie c jest wielkością stałą.

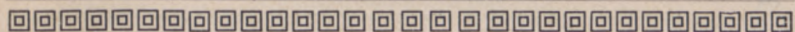
6) (Str. 31). Jeśli $\varphi = \frac{k}{d^2}$, to zgodnie z uw. 5: $T = \frac{1}{n} =$

$\sqrt{\frac{c}{\varphi}} = \frac{c}{d \cdot \sqrt{k}} = \frac{C}{d}$; (C oznacza pewną stałą), więc $n = \frac{1}{C} d$, gdzie

n oznacza częstość wahań.

7) (Str. 33). W ten sposób igły, zetknawszy się, spotykałyby się punktami, oddalonymi nieco mniej, niż o cal od końców; Coulomb przypuszcza, że w tych miejscach jest skupiony „płyn magnetyczny“, jak o tem przekonały go inne doświadczenia; innemi słowy punkty te są biegunami magnetycznymi igieł (ob. „Wynik pierwszy“, str. 33).

8) (Str. 34). Poprawniej: z siłą, odpowiadającą skręceniu o 840° , ponieważ przy wychyleniu o 1° siła, z jaką magnetyzm ziemski pociąga igłę ku południkowi, odpowiada skręceniu drutu o 35° .



LUDWIK ALOIZY GALVANI.

(1737 — 1798).

Urodz. 9 września 1737 r. w Bolonii, po ukończeniu studyów medycznych pracował początkowo jako lekarz w rodzinnem mieście; w r. 1762 powołano go na docenta medycyny uniwersytetu bolońskiego, a w r. 1775 na katedrę anatomii praktycznej. W r. 1798 odmówił przysięgi rządowi stworzonej przez Napoleona Rzeczypospolitej Cisalpińskiej, co spowodowało odebranie mu katedry i wszystkich tytułów; ze względu na zasługi naukowe zwrócono mu je w tym samym jeszcze roku, lecz ponownemu objęciu wykładów stanęła na przeszkodzie choroba i śmierć, która nastąpiła 4 grudnia 1798 roku.

Pracując przez lat wiele nad różnemi zagadnieniami anatomii i fizyologii, badał między innymi ruchy mięśniowe oraz wrażliwość nerwów ruchowych u żaby. Podczas tych badań (a nie, jak twierdzi legenda, podczas przygotowywania żab na rosół dla chorej żony) zauważył przypadkowo w r. 1780 działanie iskry elektrycznej na umieszczoną w pobliżu żabę. Przeczuwając, że jest na tropie doniosłego odkrycia, prowadził badania nad tem zjawiskiem przez kilka lat, lecz dopiero w r. 1791 ogłosił ich wyniki w rozprawie, z której wyjątki poniżej przytaczamy. Po ogłoszeniu doświadczeń Volty, który wystąpił przeciw przyjętej przez Galvani'ego hipotezie elektryczności zwierzęcej, wywiązała się gwałtowna polemika pomiędzy zwolennikami i przeciwnikami tej teorii; Galvani sam wziął udział w sporze, ogłaszając w r. 1797 drugą rozprawę o elektryczności zwierzęcej, w której starał się wykazać niedostateczność przypuszczeń Volty. Rozprawa ta żadnych nowych faktów nie zawierała.

O siłach elektryczności przy ruchach mięśniowych.*)

CZĘŚĆ PIERWSZA.

Siły elektryczności sztucznej przy ruchach mięśniowych.

Chcąc udostępnić to, co mi się udało odkryć w nerwach i mięśniach, przy niemałym nakładzie pracy i po wielu doświadczeniach, i pragnąc, aby siły ich ukryte o ile możności wyjaśnione zostały... nie znalazłem nic, coby lepiej spełnieniu tego życzenia odpowiadało, jak poddanie pod sąd publiczny mych rezultatów w tej postaci, w jakiej były w rzeczywistości otrzymane...

Rzecz tak się zaczęła. Robiłem dysekcję żaby i odpreparowałem ją tak, jak na fig. 2 rys. 6 i położyłem ją na stole, na którym stała machina elektryczna, fig. 1. Gdy jeden z moich pomocników przypadkiem dotknął końcem skalpela bardzo lekko wewnętrznych nerwów udowych *DD* żaby, wszystkie mięśnie stawów zdawały się kurczyć kilkakrotnie, jakgdyby były pozornie opanowane przez gwałtowne skurcze toniczne. Ale innemu, który nam pomagał przy doświadczeniach z elektrycznością, wydawało się, iż zauważył, że stało się to podczas wydobywania iskry z konduktora maszyny. Zdziwiony tem nowem zjawiskiem, zwrócił na to uwagę mnie, który miałem zupełnie inne zamiary i w myślach byłem pogrążony. Wtedy ogarnął mnie niewypowiedziany zapał i żądza, żeby poddać to próbie i wydobyć na światło

*) „Aloysii Galvani: de viribus electricitatis in motu musculari Comentarius“, 1791 roku. Tłómaczone z wydania niemieckiego w „Ostwald's Klassiker der Exakten Wissenschaften.“

dziennie, coby się pod tem ukrywało. Dotykałem więc sam końcem noża tego lub owego nerwu udowego, a w tej samej chwili jeden z obecnych wydobywał iskrę. Zjawisko

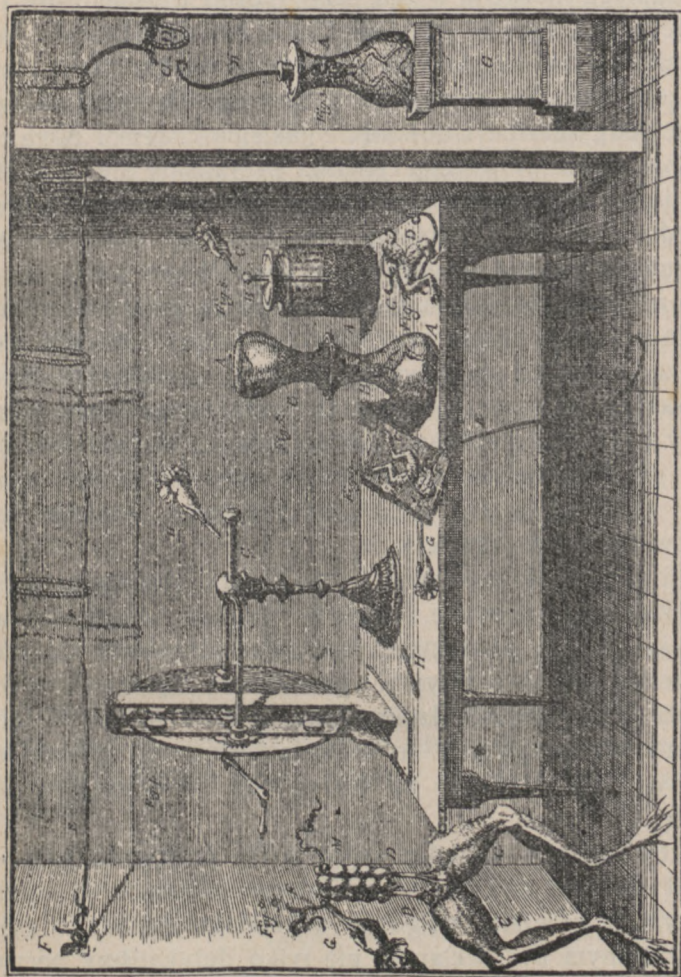


Fig. 6. Pierwsze doświadczenia Galwaniego z żabami.

było zawsze takie same. Gwałtowne skurcze występowały niechybnie w oddzielnych mięśniach stawów w tej samej chwili, w której przeskakiwała iskra, tak, jakgdyby zwierzę dostawało napadu tęcza.

Wziąwszy jednak pod uwagę, że ruchy te mogły być spowodowane nie tyle przez iskrę, ile raczej przez dotknięcie noża, co, być może, wywoływało podrażnienie, dotykałem nożem tych samych nerwów w ten sam sposób u innej żaby i to mocniej, ale wówczas, gdy iskier nikt nie wydobywał. Lecz żadnych ruchów nie dało się dostrzedz. Przyszedłem przeto do przekonania, że do wywołania zjawiska są, być może, potrzebne jednocześnie i dotknięcie jakimś ciałem i iskra...

Pobudzeni nowością zjawiska zabraliśmy się do... zbadania doświadczalnego różnymi sposobami tej sprawy, używając jednak do tego jednego i tego samego skalpela, aby o ile można wykryć przyczyny odrębności nieoczekiwanych. I ta nowa praca nie pozostała bez rezultatu, gdyż odkryliśmy, że całe zjawisko należy przypisać rozmaitym częściom skalpela, za które się go trzymało palcami. Albowiem, ponieważ skalpel miał rączkę kościaną, wstrząśnienia nie występowały przy przeskakowaniu iskry, jeśli się obejmowało dłońią tę rączkę, zdarzało się to jednak przy dotykaniu palcami ostrza metalowego lub gwoźdźcia żelaznego, którym było umocowane ostrze skalpela.

Ponieważ dostatecznie suche kości wykazują naturę idioelektryczną, a ostrze i gwoździe żelazny naturę przewodzącą lub t. zw. anelektryczną,¹⁾ więc doszliśmy do przypuszczenia, iż, jeśli trzymać palcami za rączkę kościaną, płynowi elektrycznemu, działającemu w jakiś sposób w żabie, wzbrania się przystępu, że natomiast przystęp zostaje dozwolony, jeśli chwycić za ostrze lub połączony z nim gwoździe.

Aby usunąć wszelką wątpliwość, posługiwaliśmy się zamiast skalpela to cienkim cylindrem szklanym *H*, czysto wytartym z wszelkiej wilgoci i wszelkiego kurzu, to cylindrem żelaznym *G*. Szklanym nie tylko dotykaliśmy nerwów udowych, ale tarliśmy je energicznie podczas wydobywania iskry. Ale napróżno; wbrew wszelkim staraniom zjawisko nie występowało nigdy, nawet gdy liczne silniejsze iskry były wydobywane z konduktora maszyny i to w niewielkiej odległości od zwierzęcia. Zato występowało, gdy się lekko

tylko dotykało tych samych nerwów cylindrem żelaznym i przy przeskakiwaniu tylko drobnych iskier.

Tem została jasno i stanowczo dowiedziona prawda naszego przypuszczenia, mianowicie, że do wystąpienia zjawiska koniecznym jest zetknięcie ciała przewodzącego z nerwem. Ponieważ jednak zarówno ciało, którym dotykano nerwów, jak i człowiek, który ich dotykał, mogli mieć pewne znaczenie, przeto stykaliśmy owe nerwy z cylindrem żelaznym *g*, nie trzymając go jednak rękoma, aby się upewnić, czy zjawisko należy przypisywać człowiekowi i cylindrowi żelaznemu, czy też tylko temu ostatniemu. Przy takim urządzeniu ruchy mięśni nie występowały przy wydobywaniu iskier. Następnie zamiast cylindra użyliśmy bardzo długiego drutu *KK*, fig. 2, aby zobaczyć, czy zdoła on, czy nie zdoła wyrównać do pewnego stopnia brak człowieka; i oto znów skurcze mięśniowe przy przeskakiwaniu iskier.

Po tych obserwacjach stało się dla nas jasnym, że do osiągnięcia zjawiska niezbędnym jest nie tylko zetknięcie ciała przewodzącego z nerwem, ale także pewna wielkość pierwszego...²⁾

W dalszym ciągu powtarza Galvani swe doświadczenia, zmniejszając to odległość od maszyny, to siłę iskier, to długość drutów; sprawdza, że zjawisko przebiega jednakowo, niezależnie od znaku naboju elektrycznego, stwierdza, że zamknięcie żaby w szczelnem naczyniu szklanem nie przeszkadza zupełnie powstawaniu zjawiska, wreszcie czyni doświadczenia z mięśniami zwierząt ciepłokrwistych (kur i owiec) z podobnym, jak u żaby, rezultatem.

CZĘŚĆ DRUGA.

Siły elektryczności atmosferycznej przy ruchach mięśniowych.

Po odkryciu w skurczach mięśni sił elektryczności sztucznie wzbudzonej, o których pisaliśmy obszernie dotychczas, nic nam się nie wydawało ważniejszym od wyjaśnienia, czy tak zwana elektryczność atmosferyczna wywoła te same

zjawiska, czy też nie; czy mianowicie, przy użyciu tych samych urządzeń, błyskawice będą wzbudzały skurcze mięśniowe podobnie, jak przeskakujące iskry.

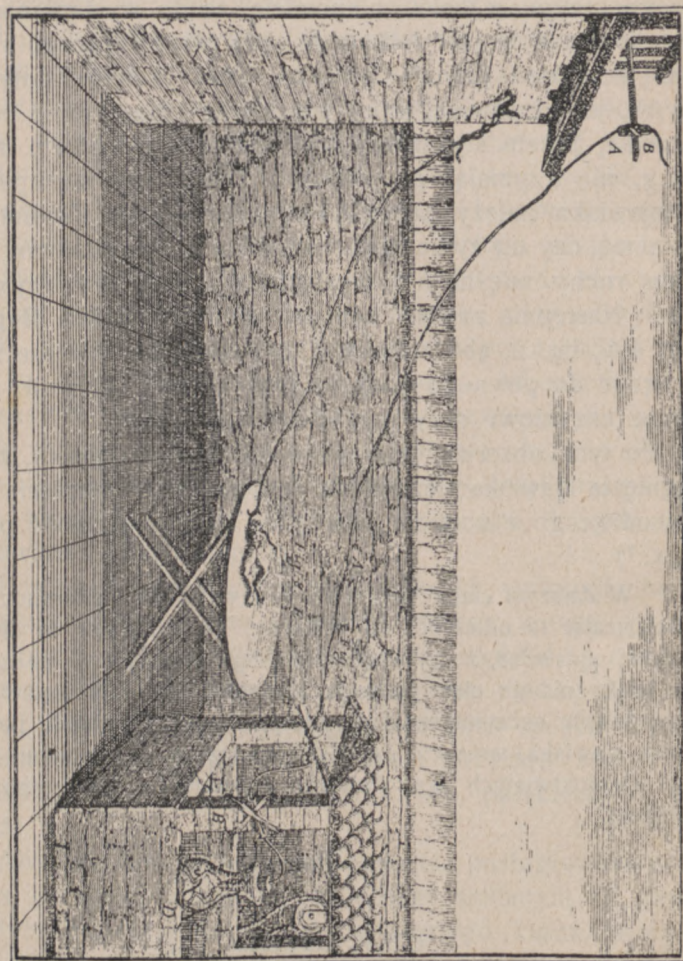


Fig. 7. Żaba reaguje na błyskawicę.

Rozpięliśmy więc i izolowaliśmy na otwartem powietrzu na wyżej położonej części domu odpowiedni przewodnik, fig. 7, a mianowicie drut żelazny, i na nim, kiedy na niebie widać było nadchodzącą burzę, zawieszaliśmy za nerwy odpreparowane żaby lub odpreparowane uda zwierząt

ciepłokrwestych. Do ich stóp również przytwierdzaliśmy inny przewodnik, mianowicie drugi drut żelazny i to bardzo długi, aby go móżdż zanurzyć w wodzie studni, wskazanej na rysunku. Sprawa miała przebieg zupełnie zgodny z naszymi życzeniami tak, jak przy elektryczności sztucznej: ilekroć mianowicie powstawały błyskawice, w tej samej chwili wszystkie mięśnie wpadały w gwałtowne, powtarzające się drgania tak, że zawsze, jak światło błyskawic i ich błyski, tak i ruchy mięśni oraz skurcze poprzedzały odgłos grzmotu i zapowiadały go niejako...

CZĘŚĆ TRZECIA.

Siły elektryczności zwierzęcej przy ruchach mięśniowych.

Ponieważ zdarzało mi się czasem zauważyć, że żaby odpreparowane, zaopatrzone również w haczyki mosiężne, wetknięte w mlecz pacierzowy, wisząc na kracie żelaznej, okalającej ogród przy naszym domu, wpadały w zwykłe drgania nie tylko przy błyskawicach, lecz także przy spokojnym i jasnym niebie, przypuściłem, że powstawanie tych skurczy należy przypisać zmianom, jakie podówczas zachodziły w elektryczności atmosferycznej. Zacząłem przeto nie bez nadziei starannie badać działanie tych zmian na ruchy mięśniowe i czynić doświadczenia w ten i ów sposób. W tym celu obserwowałem stosownie spreparowane zwierzęta w różnych godzinach i to przez kilka dni z rzędu, ale ruchy w mięśniach występowały zaledwie kiedy niekiedy. W końcu, znużony daremnym oczekiwaniem, zacząłem przyciskać i przygniatać haczyki bronzowe, wetknięte w mlecz pacierzowy, do żelaznej kraty, aby zobaczyć, czy przez taki wybieg skurcze mięśni nie zostaną wzbudzone i czy, jeśli nie zmiany w stanie atmosfery i elektryczności, inne jakie zmiany i przebiegi nie mają na nie wpływu. Zauważyłem wprawdzie skurcze dość częste, ale nie takie, któreby zależały od rozmaitego stanu atmosfery i elektryczności.

Ponieważ obserwowałem te skurcze tylko na otwartem powietrzu, gdyż gdzieindziej doświadczenia nie były jeszcze robione, przeto niewiele brakło, abym przypisał te skurcze elektryczności atmosferycznej, która wpełza w zwierzę, skupia się tam i uchodzi nagle przy zetknięciu haczyka z kratą żelazną. Łatwo jest bowiem łudzić się przy doświadczeniu i mniemać, że się widzi i znajduje to, co widzieć i znajdować pragniemy.

Przeniosłem jednak zwierzę do pokoju zamkniętego, położyłem je na płycie żelaznej i zacząłem przyciskać do niej haczyk, wetknięty w mlecz pacierzowy, i oto — te same skurcze, te same ruchy! To samo wypróbowałem, używając innych metali, w innych miejscach, o innych godzinach i innych dni; i rezultat ten sam, tylko że skurcze były różne przy różnych metalach, przy jednych mianowicie silniejsze, przy innych słabsze. Nareszcie przyszło nam na myśl użyć do doświadczeń innych ciał, lecz takich, które przewodzą elektryczność mało lub wcale, a więc składających się ze szkła, z gumy, żywicy, kamienia, lub drzewa i to suchych; nic podobnego nie wystąpiło, nie było widać żadnych skurczy, ani ruchów. Rzecz prosta, że podobny wynik wywołał w nas zdumienie niemałe i obudził przypuszczenie, że elektryczność znajduje się wewnątrz samego zwierzęcia.³⁾ Umocniło nas w tem przekonaniu przypuszczenie istnienia fluidu nerwowego bardzo subtelnego, który płynie podczas zjawiska od nerwów do mięśni, podobnie do prądu elektrycznego w butelce lejdejskiej.

Aby jednak rzecz lepiej wyjaśnić, kładłem z najlepszym rezultatem żabę na płytę nieprzewodzącą, mianowicie ze szkła lub żywicy i używałem łuku to przewodzącego, to całkowicie lub tylko częściowo nieprzewodzącego, dotykając jednym jego końcem haczyka, wbitego w mlecz pacierzowy, a drugim mięśni udowych albo stóp. Przy tem doświadczeniu zauważyliśmy, że skurcze występowały, gdyśmy używali łuku przewodzącego, fig. 9 na rys. 8, a nie zdarzały się przy użyciu łuku częściowo nieprzewodzącego, jak na fig. 10.

Łuk przewodzący składał się z drutu żelaznego, haczyk zaś z drutu mosiężnego.

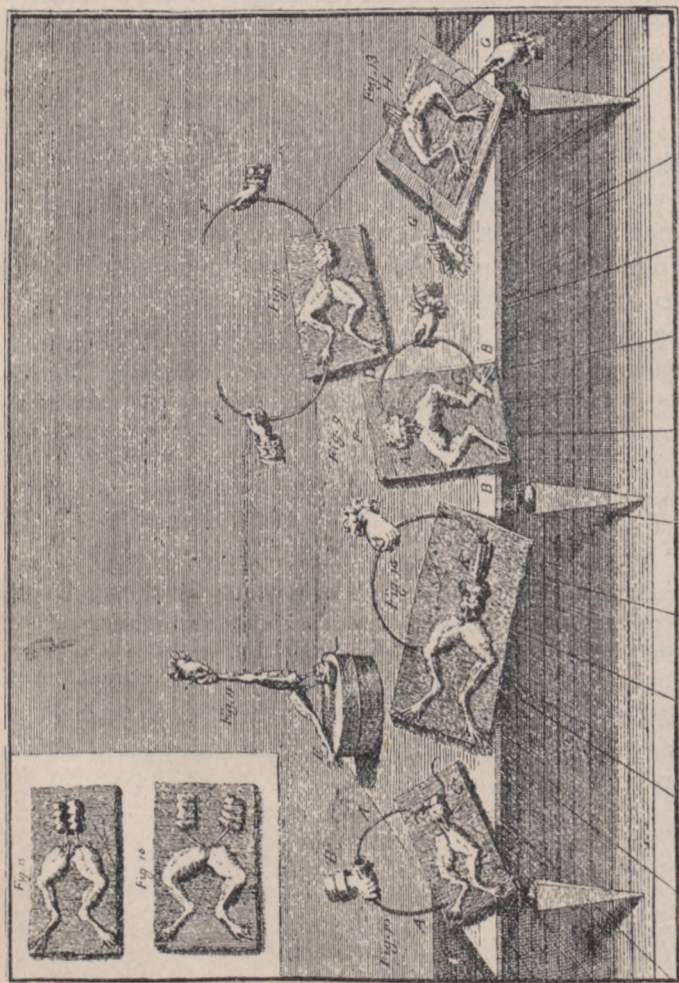


Fig. 8. Działanie zetknięcia dwóch różnych metali.

Jeśli zabę ująć palcami za nogę tak, aby na niej zwi-
sała i aby haczyk, wetknięty w mlecz pancerzowy, dotykał
płytki srebrnej, a druga noga mogła się swobodnie ślizgać
po płytce, fig. 11 na rys. 8, to mięśnie kurczą się za każdym

razem, kiedy noga zetknie się z płytką, przez co noga się unosi; wkrótce jednak, rozkurczając się sama przez się i opadając spowrotem na płytkę, znów się z nią styka, przez to ponownie zostaje wzniesiona i tak ciągle podnosi się i opada, stając się poniekąd podobną do wahadła elektrycznego, ku najwyższemu zdumieniu i radości obserwatora...

.

Nadto udało się nam zauważyć to szczególne i godne uwagi zjawisko, mianowicie, że różnorodność i odrębność substancji metalu silnie współdziała wzbudzaniu, jakoteż szczególnie zwiększaniu skurczów mięśni i to wiele więcej, niż przy użyciu jednej i tej samej substancji metalicznej.⁴⁾ Tak np. gdy cały łuk był żelazny, skurcze najczęściej się nie pojawiały, lub były bardzo drobne. Lecz gdy część jego była np. żelazna, a druga mosiężna, lub — jeszcze lepiej — srebrna (srebro mianowicie zdało nam się bardziej odpowiedniem do przewodzenia elektryczności zwierzęcej niż wszystkie pozostałe metale),⁵⁾ występowały skurcze wielokrotne, znacznie silniejsze i długotrwałe.

Dalsze doświadczenia Galvani'ego były przeważnie odmianami pierwszych, przedsięwziętymi w celu potwierdzenia hipotezy istnienia elektryczności w organizmie zwierzęcym; polegały one głównie na tworzeniu łuku, łączącego nerw z mięśniem, z coraz to innych materiałów w coraz to innym kształcie użytych, na włączaniu weń swego ciała lub tworzeniu łańcucha z kilku ludzi i. t. p.

CZĘŚĆ CZWARTA.

Niektóre przypuszczenia i wnioski.

Zgodnie z poznanymi dotąd i zbadanymi faktami jest rzeczą, jak mniemam, dostatecznie pewną, że wewnątrz zwierzęcia znajduje się elektryczność, którą za Bartoloni'm

i innymi pozwalamy sobie nazwać imieniem gatunkowym elektryczności zwierzęcej...

Trafną byłyby może hipoteza, że włókno mięśniowe jest niejako małą butelką lejdejską lub innym podobnem ciałem elektrycznem, nabitem elektrycznością podwójną i odwrotną, a nerw da się przyrównać do przewodnika butelki...⁶⁾

Resztę rozprawy zajmuje bardzo fantastyczne stosowanie odkrytych zjawisk do zagadnień fizjologii i patologii; między innymi poszukuje Galvani źródła elektryczności zwierzęcej i przypuszcza, że wydziela ją kora mózgowa.

W rozprawie Galvani'ego poznajemy wybitne cechy jego umysłu: rzutki, pełen entuzjazmu, ale mało krytyczny, daje się pociągnąć powierzchownym analogiom, których słuszności nie stara się sprawdzić wszechstronnie. Zjawiska elektryczności zwierzęcej, badane wówczas gorliwie, nasunęły mu błędną hipotezę, która pozornie tłómaczyła odkryte przez niego zjawiska. Volta wykazał jej błędność i na jej miejsce postawił własną teorię (ob. niżej). Pomimo ostrej polemiki, skierowanej przeciw teoryom Galvani'ego, Volta potrafił ocenić ogromne zasługi, jakie jego przeciwnik położył dla nauki; wyrazem tego uznania było nadanie przez Voltę nazwy „galwanizmu“ całej dziedzinie nowo odkrytych zjawisk. Prace Galvani'ego otworzyły nowe, nadzwyczaj płodne pole dla badań fizycznych, gdyż stanowiły pierwszy krok do obszernej nauki o prądach elektrycznych.

UWAGI.

¹⁾ (Str. 40). Naturę idioelektryczną, czyli zdolność posiadania elektryczności przypisywano ciałom izolującym, ponieważ mogą być naelektryzowane. O metalach, które do utrzymania naboju elektrycznego wymagają dokładnej izolacji, mniemano, że wogóle nie

posiadają własności elektryzowania się, nazywano je więc ciałami anelektrycznymi, czyli nieelektrycznymi.

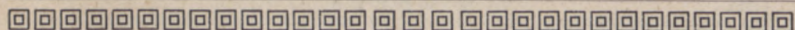
²⁾ (Str. 41). Porównaj objaśnienie przez Voltę zjawisk, opisanych w tej części rozprawy Galvani'ego. (Ob. str. 52).

³⁾ (Str. 44). Wniosek zupełnie mylny. Galvani nie zdołał wyjaśnić odkrytych przez siebie zjawisk. Jako fizyolog zwrócił uwagę więcej na stronę fizyologiczną zjawiska, niż na stronę fizyczną i szukał przyczyny obserwowanych ruchów wewnątrz samego zwierzęcia, uciekając się do teorii elektryczności zwierzęcej. Dopiero Volta wykazał błędność takiej hipotezy i objaśnił czysto fizycznie przyczynę powstawania zjawisk, zauważonych przez Galvani'ego. (Ob. niżej, str. 58).

⁴⁾ (Str. 46). To zdanie wskazuje, że Galvani był na tropie właściwego objaśnienia zjawiska, ale przypadkowy zbieg okoliczności, dzięki któremu najsilniejsze działanie otrzymano z najlepszym przewodnikiem elektryczności, srebrem, zbił go z tropu i naprowadził na fałszywą drogę. (Ob. uwagę następną).

⁵⁾ (Str. 46). Objaśnienie mylne; główną przyczyną tego, że drut srebrny wywołał działanie silniejsze, niż inne metale, było nie jego lepsze przewodnictwo, ponieważ opór drutu metalowego w każdym razie był drobny w porównaniu z oporem tkanek żaby, — lecz fakt, że srebro przy zetknięciu z żelazem z jednej, a z tkanką zwierzęcą z drugiej strony wzbudza napięcie elektryczne silniejsze, niż którykolwiek z pozostałych metali, używanych przez Galvaniego.

⁶⁾ (Str. 47). Porównaj uwagę 3.



ALEKSANDER VOLTA.

(1745 — 1827).

Urodził się 18 lutego 1745 r. w Como; już jako młodzieniec okazywał wybitne zdolności i zamiłowanie do wiedzy. W r. 1774 został profesorem fizyki przy gimnazyum w Como, od r. 1779 do 1819 wykładał fizykę na uniwersytecie w Pawii. W r. 1777 i w latach 1780 — 1782 odbył dwie podróże po Szwajcaryi, Francyi, Niemczech, Holandyi i Anglii, w czasie których miał sposobność poznać się i pracować razem z szeregiem wybitnych fizyków i chemików ówczesnych, jak Saussure w Genewie, Lavoisier i Laplace w Paryżu, Priestley w Anglii i in. Pociągnęły go zagadnienia nauki o elektryczności, zajmujące wówczas żywo umysły nietylko uczonych ale i laików, i rozpoczął szereg badań nad nimi. Pracował więc nad teorią butelki lejdejskiej, nad powstawaniem elektryczności przy uderzeniu i przy parowaniu wody, nad działaniem rozbrajającym płomienia, oraz nad elektrycznością atmosferyczną. W r. 1771 odkrył elektrofor, a szczegółowe zbadanie działania tego przyrządu umożliwiło mu w roku 1782 zbudowanie kondensatora płaskiego, który zastosował do mierzenia drobnych nabożów elektrycznych oraz do uczulenia elektroskopu; ten przyrząd ulepszył sam w roku 1781, używając źdźbeł słomy zamiast kulek z rdzenia bżowego.*) Prócz tego pracował nad rozszerzalnością gazów i parowaniem cieczy, wynalazł eudiometr oraz płomień wodorowy. Sławę swą jednak zawdzięcza Volta prawie wyłącznie pracom, przedsięwziętym w latach 1792 — 1800 w celu wyjaśnienia odkryć Galvani'ego; te badania doprowadziły go do odkrycia prądów galwanicznych, elektryzacyi przez zetknięcie przewodników niejednorodnych, do zestawienia t. zw. szeregu Volty oraz sformułowania prawa tego szeregu, wreszcie do budowy ogniwa i stosu

*) Anglik Bennet zastosował w r. 1787 listki złota.

elektrycznego, t. j. pierwszych przyrządów, sprawiających bezustanny przepływ elektryczności. Ten wynalazek umożliwił badanie prądów elektrycznych, które dziś zajmują miejsce naczelne tak w teorii, jak i w technicznym zastosowaniu elektryczności. Odkryć swoich Volta nie ogłaszał w rozprawach, lecz wyłącznie w listach do licznych przyjaciół i do uczonych zagranicznych. Prace Volty przyniosły mu już za życia uznanie powszechne i zaszczyty; wezwany w r. 1801 do Paryża przez Bonaparte'go, wygłosił w jego obecności w Institut de France odczyt o swym wynalazku; poczem, na wniosek Napoleona, ofiarowano mu złoty medal pamiątkowy; po szeregu dalszych odznaczeń otrzymał w r. 1810 tytuł hrabiego i senatora Lombardyi. Zmarł 5 marca 1827 r. jako członek licznych towarzystw naukowych. Współczesny mu fizyk francuski Arago tak go scharakteryzował: „Umysł silny i szybki, idee wielkie i trafne, charakter szczerzy i serdeczny.... Ambicya, żądza złota, chęć rywalizacji nie wpływały na żaden z jego czynów. Zamiłowanie do badań nie było zamącone u niego żadnemi przymieszkami światowemi“.

Prace Volty stanowią piękny przykład rozwoju myśli naukowej. Nie od razu powziął on ideę, która stanowi rdzeń jego odkrycia; po zapoznaniu się z doświadczeniami Galvani'ego zrazu podzielał jego sposób tłumaczenia ich, ale jasna i krytyczna myśl rychło wskazała mu braki tej teorii i skłoniła do szukania gdzieindziej źródeł czynnika, który owe zjawiska wywoływał, a którego naturę jasno zrozumiał; drogowskazem w tem poszukiwaniu źródła prądu elektrycznego było dlań zawsze doświadczenie celowe, trafnie pomyślane, przeprowadzone zręcznie i zadziwiająco prostymi środkami. Znalazłszy poszukiwane źródło prądu w zetknięciu przewodników niejednorodnych, Volta stosuje swe odkrycie z całą ostrożnością, uznaje je najpierw za czynnik współrzędny z elektrycznością zwierzęcą Galvani'ego, a dopiero po usunięciu wszelkich wątpliwości i po dowodnem wykazaniu błędów Galvani'ego i jego zwolenników głosi śmiało i stanowczo, że wskazane przezeń źródło prądu jest źródłem jedynem. Na każdym stopniu rozwoju swej teorii Volta przystosowywał ją ściśle do znanych mu faktów; każdy jego krok był poparty licznemi doświadczeniami, był owocem trafnie uchwyconej analogii i zręcznie przeprowadzonej indukcji. Listy jego, pisane nieraz w odstępach kilkotygodniowych, świadczą o bezustannej, gorączkowej pracy myślowej, dzięki której idee jego rozwijały się i dojrzewały stopniowo i pewnie.

O pewnych odkryciach Galvani'ego z Bolonii wraz z doświadczeniami
i uwagami.

DWA LISTY DO P. TYBERYUSZA CAVALLO, F. R. S*).

13 września 1792 r.

I.

....Pragnę dać Panu opis zarówno cudownych odkryć Galvani'ego, jak i postępów, jakich miałem szczęście dokonać w tej dziedzinie....

1) Pan Dr. Galvani odpreparował żabę tak, że nogi łączyły się jedynie zapomocą obnażonych nerwów udowych z częścią kręgosłupa, oddzieloną od reszty ciała; zauważył on, że w nogach powstają żywe ruchy z kurczowemi drganiem wszystkich mięśni za każdym razem, gdy z wielkiego konduktora maszyny elektrycznej wydobywano iskry bynajmniej nie na ciało zwierzęcia, lecz na jakiegokolwiek inne cia-

*) Listy te ukazały się w języku francuskim w *Philosophical Transactions* p. t. „On some discoveries made by Galvani of Bologna with experiments and observations on them”. Tłómaczenia dokonano z wydania niemieckiego w *Ostwald's Klassiker* № 118, str. 73.

Kto chce szybko zapoznać się z samymi wynikami doświadczeń Volty, może opuścić ten list, gdyż streszczenie najważniejszych jego rezultatów znajdzie w liście następnym, pisanyim co Vassalli'ego. W liście niniejszym ciekawym jest bieg myśli, dochodzącej prawdy stopniowo.

ło i w kierunku zupełnie odmiennym; podczas tego nogi zwierzęcia znajdowały się daleko od tegoż konduktora i to w pewnych warunkach, które poniżej wyjaśnimy. Warunki te polegały na tem, aby odpreparowane zwierzę znajdowało się albo bardzo blisko, albo w zetknięciu z metalem lub innymi dobrymi przewodnikami dostatecznej wielkości, a jeszcze lepiej pomiędzy dwoma podobnymi przewodnikami, z których jeden był zwrócony ku końcowi nóg lub ku któremukolwiek mięśniowi, a drugi—ku kręgosłupowi lub nerwom; było też bardzo celowem, jeśli jeden z przewodników, które autor nazywa przewodnikiem nerwowym i przewodnikiem mięśniowym, a zwłaszcza ostatni posiadał dobre połączenie z ziemią...

2) To zjawisko wywołało w Galvani'm zdumienie większe może, niżby należało, gdyż właściwość nie tylko iskry elektrycznej, napotykającej nerw lub mięsień bezpośrednio, lecz każdego prądu, który z jakąś prędkością krąży po ciele, jego potężna, powtarzam, zdolność do wywoływania podrażnień była rzeczą dobrze znaną; było zresztą oczywiście, że tak w tem doświadczeniu, jak i we wszystkich, przytoczonych w dwóch pierwszych częściach jego pracy, jak to widzimy na obu pierwszych tablicach, przez żabę jego przepływał prąd. Należy sobie tylko wyobrazić dobrze znane działanie atmosfer elektrycznych¹⁾, czyli t. zw. ciśnienia elektrycznego; przez nie elektryczność przewodnika, zanurzonego w obszar czynny ciała elektrycznego, zostaje odepchnięta—w zależności od tego, jak silną i jak obszerną jest ta sfera działania—i pozostaje w tym stanie przesunięcia dopóty, dopóki trwa elektryczność ciała działającego, oraz powraca na swe dawne miejsce, jak tylko ta zostanie usunięta; a dzieje się to powoli, gdy i pierwsze ciało rozbraja się powoli, a nagle, gdy ciało nabite zostanie naraz rozbrojone. Owo to uderzenie z wrotne, ów przepływ powrotny elektryczności do przewodników, połączonych z żabą, nagłe przejście z przewodnika nerwowego do mięśniowego lub odwrotnie, szczególnie gdy prąd taki ogranicza się do jednego tylko wąskiego kanału nerwowego: ono właśnie wywołuje skurcze i ruchy we wspomnianych doświadczeniach....

Dalej stara się Volta ocenić wrażliwość nerwów żaby na podrażnienia elektryczne, szukając najdrobniejszego naboju butelki lejdejskiej, jaki jest jeszcze w stanie wywołać skurcz mięśni, i dochodzi do przekonania, że wystarczają do tego naboje tak słabe, że nie dałyby się wykryć za pomocą któregokolwiek ze znanych wówczas elektroskopów (o listkach złota malarskiego lub żbźbłach słomy).

8) Mamy więc w nogach żaby, wiszących na kręgosłupie, nowy rodzaj elektrometru;²⁾ gdyż naboje, które zdają się nie wpływać na te przyrządy, byłyby uważane za nieistniejące, gdy tymczasem w elektrometrze zwierzęcym, jeśli go tak nazwiemy, dają tak wyraźne znaki...

10) Jeśli więc nie dziwimy się już doświadczeniom, przytoczonym w obu pierwszych częściach rozprawy Galvaniego, to jakże mamy się uchronić od zdumienia wobec całkiem nowych i cudownych, przytoczonych w części trzeciej? Otrzymał on tam te same drgania i ruchy członków bez uciekania się do jakiegokolwiek elektryczności sztucznej lub podrażnienia zewnętrznego, jedynie przez przyłożenie łuku przewodzącego, którego jeden koniec dotykał mięśni, a drugi nerwu lub odpreparowanego kręgosłupa. Ten łuk przewodzący mógł się składać albo całkowicie z metalu, albo w części z metalu, a w części pozostałej z innych ciał z klasy przewodników, jak woda, jedna lub więcej osób i t. p....

13) Galvani wytworzył sobie na podstawie swych doświadczeń wyobrażenie, zgodnie z którym podtrzymuje w każdym wypadku analogię z butelką lejdejską.. Gdyby był nieco więcej urozmaicał swe doświadczenia, jak ja to czyniłem, byłby także zauważył, że owo zetknięcie podwójne z nerwem i z mięśniem, ów obwód prądu, pomysłany przez niego, bynajmniej nie zawsze jest potrzebny. Byłby odkrył to, co ja znalazłem, że można otrzymać te same drgania, te same ruchy nóg i innych kończyn żab i wszystkich innych zwierząt jedynie przez zetknięcie metaliczne bądź dwóch miejsc jednego nerwu, bądź dwóch mięśni, a nawet różnych punktów jednego i tego samego mięśnia.

14) Prawda, że wynik nie jest ten sam w obu wy-

padkach, i w ostatnim wypadku musimy się uciec do wybiegu, o którym poniżej będziemy mieli sposobność pomówić, a który polega na użyciu dwóch różnych metali; ten wybieg nie jest bezwzględnie konieczny, jeśli postępować według Galvani'ego—przynajmniej dopóty, dopóki trwa siła życiowa w zwierzęciu lub jego odciętych członkach. Ponieważ jednak osiąga się ostatecznie ruchy członków z okładkami z różnych metali, przyłożonemi tylko do nerwu lub tylko do mięśnia, to należy wnioskować, że, jeśli istnieją nawet wypadki (co mogłoby się jeszcze wydawać bardzo wątpliwem), w których mniemane rozbrojenie pomiędzy nerwem i mięśniem bywa przyczyną ruchu mięśni, to z pewnością i to o wiele częściej istnieją warunki, w których otrzymuje się te same ruchy przez zupełnie inny proces, przez zupełnie inny obieg płynu elektrycznego.

15) Jest to też zupełnie inna czynność płynu elektrycznego, o której można powiedzieć, że raczej narusza równowagę, niż że ją przywraca; gdyż płyn ten przepływa z części mięśnia lub nerwu, zarówno wewnątrznie przez przewodzące włókna, jak i zewnętrznie przez przyłożone przewodniki metalowe, nie wskutek istniejącego niedoboru lub nadmiaru³⁾, lecz wskutek działania własnego tychże metali, o ile tylko są one różne. W ten sposób odkryłem nowe prawo, które jest nie tyle prawem elektryczności zwierzęcej, ile prawem elektryczności zwykłej; jej właśnie należy przypisać większość objawów, które... zdawały się należeć do elektryczności zwierzęcej, co jednak nie ma miejsca; są to w istocie działania bardzo słabej elektryczności sztucznej, wzbudzonej w sposób, którego nie przeczuwano, przez proste przyłożenie dwóch okładek z różnych metali...

18) Przechodzę teraz do doświadczeń, które dowodzą wszystkich postawionych twierdzeń. Z wielkiej liczby nadających się do tego wybieram tylko niektóre i to takie, które zdają mi się lepiej dowodzić pewnych zasad; większość ich jest nowa i różni się od doświadczeń Galvani'ego...

19) Doświadczenie A. Chwytam szczypczykami

nerw udowy powyżej wejścia do nogi i o parę linii wyżej przykładam monetę do tegoż samego nerwu, starannie oczyszczonego, zawieszono na nitce lub ułożonego na płycie szklanej, lasce laku, suchem drzewie albo innym złym przewodniku. Następnie dotykam szczypczyków częścią zewnętrzną butelki lejdejskiej, bardzo słabo nabitej, a pręt jej wprowadzam w zetknięcie z drugą płytką metalową. Natychmiast następuje rozbrojenie, które, jeśli nawet jest tak słabe, że się iskry wcale nie otrzymuje, wprawia w drganie wszystkie mięśnie nogi: noga zostaje wstrząśnięta i gwałtownie się porusza. A jednak cała ta noga, a nawet część nerwu znajdowała się poza obrębem drogi, którą obrał płyn elektryczny tak, że tylko mała część nerwu mogła zostać podrażniona; niemniej wystarczało to do wywołania drgań.

20) Doświadczenie B. To samo dzieje się, t. j. występują podobne drgania i ruchy nogi bez zastosowania elektryczności zewnętrznej, przez rozbrojenie, jakie występuje, gdy przyłożyć do jednego miejsca nerwu te same szczypczyki, co powyżej, albo płytkę srebrną, a do drugiego miejsca płytkę z jakiego innego metalu, szczególnie z cyny lub ołowiu, poczem poprostu połączyć je albo przez zetknięcie bezpośrednie albo przez włączenie trzeciego kawałka metalu, któryby zamykał łuk przewodzący.

21) Tutaj oto mamy te same działania, bardzo żywe drgania i ruchy mięśniowe bez rozbrojenia płynu elektrycznego pomiędzy nerwami i mięśniami, jak to Galvani zawsze przypuszcza; również bez łączenia jednego końca łuku przewodzącego z nerwem, a drugiego z mięśniami...

Dalsze doświadczenia stwierdzają, że obnażenie i izolowanie nerwu jest zbyteczne, gdyż wystarcza przyłożenie okładek z różnych metali do dwóch różnych miejsc skóry żaby niepokrajanej lub nawet żywej; że to samo zjawisko można otrzymać z innymi mięśniami, a także u innych zwierząt ciepło i zimnokrwistych, że wreszcie otrzymuje się drgania w mięśniach, pociętych na kawałki.

II.

25 października 1792 r.

30) Doświadczenie G. Pokryłem oba uda żaby w miejscach, dokładnie sobie odpowiadających, dwoma listkami: srebrnym i cynowym, połączyłem obie okładki łukiem przewodzącym i otrzymałem zwykle poruszenia.

31) Jeśli tak jest, to zapytuję, czy tu rozbrajają się dwie butelki lejdejskie przez połączenie dwóch powierzchni zgodnych? Porzućmy lepiej te wyobrażenia o butelkach i ich rozbrajaniu, jak i wszelkie objaśnienia wymuszone, powiedzmy raczej, że tu, jak i w doświadczeniach analogicznych, płyn elektryczny przelewa się z jednej do drugiej, odpowiednio obłożonej części; jest to przenoszenie, spowodowane nie przez nadmiar tego płynu, gdyż nie można przypuścić istnienia takiego nadmiaru pomiędzy częściami jednakowymi, lecz przez różność okładek, gdyż metale muszą być rozmaite, jak to wykazałem (20, doświadczenie B) i wciąż ponownie podkreślam. I w rzeczy samej:

32) Doświadczenie H. Gdy dwa mięśnie lub dwa miejsca jednego i tego samego mięśnia są obłożone jednakowo, t. j. dwoma płytkami jednego i tego samego metalu, równymi także pod względem twardości, ciągliwości lub wytrzymałości, wygładzenia lub szorstkości swych powierzchni i jednakowo nałożonemi, to można je dowolnie łączyć przewodnikiem, a nie występuje żadne drganie ani żaden ruch.

33) Przyznaję, że niełatwo zrozumieć, jak i dlaczego proste użycie dwóch niejednakowych okładek, t. j. różnych metali, w dwóch punktach podobnych zwierzęcia, nawet w dwóch bardzo bliskich punktach jakiegobądź mięśnia, narusza równowagę płynu elektrycznego i, zmuszając do porzucenia beczynności, przepędza go bezustanie z miejsca na miejsce: ten prąd powstaje natychmiast, gdy przewodnik łączy obie okładki, i trwa dopóty, dopóki istnieje owo połączenie. Czy przyczyna tego jest zrozumiała, czy nie, jest to fakt, dowiedziony dostatecznie przez doświadczenia, zarówno przytoczone, jak i wiele innych, które jeszcze przyto-

czę i do których będę próbował dołączyć objaśnienie. Jest to fakt, który musimy dodać do faktów, znanych już z elektryczności; fakt nadzwyczaj dziwny, trudny do pogodzenia z prawami znanymi...

47) Zdoławszy otrzymać ruchy toniczne w mięśniach i członkach zwierząt nie tylko małych ale i dużych, i to nie obnażając żadnego nerwu, przez proste przykładanie różnych metali do mięśni, obdartych z powłoki, niezadługo pomyślałem o tem, czy nie byłoby możliwem osiągnąć to samo u człowieka. Zrozumiałem, że udałoby się to łatwo w członkach odjętych, lecz jak miałem postąpić z całym, żywym człowiekiem? I tu musiałbym odslaniać powłoki, czynić głębokie nacięcia, usuwać części ciała tam, gdziebym chciał umieścić okładki metalowe (jak to często musiało być czynione u dużych zwierząt w miejscach, obnażonych z ciała). Na szczęście wpadłem na myśl, że w języku posiadamy mięsień nagi, a przynajmniej pozbawiony powłok tak grubych, jak te, które pokrywają powierzchnię ciała, przytem mięsień bardzo ruchliwy i poddany woli. Tu, rzekłem sobie, są spełnione wszystkie warunki, potrzebne do wzbudzenia żywych ruchów zapomocą zwykłego wybiegu okładek z różnych metali. Wychodząc z tego punktu widzenia, wykonałem następujące doświadczenie na swym własnym języku.

48) Doświadczenie Q. Koniec języka i część jego powierzchni na parę linii szeroką pokryłem listkiem cynowym (wystarcza do tego t. zw. papier srebrny), na powierzchni języka, bliżej ku przodowi, położyłem wypukłą część łyżki srebrnej, następnie pochyliłem trzonek aż do zetknięcia z listkiem cynowym. Oczekiwałem teraz, że język zadrży; dla tego robiłem doświadczenie przed zwierciadłem. Ale przepowiedziane ruchy nie wystąpiły; zamiast nich otrzymałem wrażenie zgoła nieoczekiwane, a mianowicie dość silny smak kwaśny na końcu języka⁴⁾.

49) Początkowo zadziwiło mnie to bardzo; ale po niejakiem namyśle pojąłem zupełnie dobrze, iż nerwy, kończące się w końcu języka, służą do wrażeń smaku, a bynajmniej

nie do poruszania tego bardzo ruchliwego mięśnia; dlatego było rzeczą zupełnie naturalną, że podrażnienie elektryczne wzbudziło smak, a nie co innego; aby w języku wywołać ruchy, do jakich jest zdolny, należało przyłożyć jedną z okładek metalowych blisko nasady, gdzie przebiegają nerwy ruchu. To zostało wkrótce stwierdzone następującem doświadczeniem:

50) Doświadczenie R. Świeżo zarżniętej owcy wycięto język blisko nasady, na powierzchnię cięcia położono płytkę cynową, na jedną z powierzchni języka łyżkę srebrną; gdy wytworzono połączenie pomiędzy obu okładkami metalowemi, ujrzałem ku swej radości, że cały język zaczął żywo drgać, koniec jego podnosił się, skręcał to tu to owdzie za każdym razem i dopóki miało miejsce połączenie.

Te same wyniki dały języki cielęcia, myszy, kur, królików i t. d.

LIST PIERWSZY

DO PANA OPATA ANTONIEGO MARYI VASSALLI *)

profesora w Turynie.

Jakie jest Pańskie zdanie o domniemanej elektryczności zwierzęcej? Co do mnie, to od dłuższego czasu jestem przekonany, że całe działanie ma swe źródło pierwotne w metalach, stykających się z ciałami wilgotnemi lub z samą wodą; dzięki temu zetknięciu płyn elektryczny w ciałach wilgotnych jest party naprzód przez owe metale, przez jeden mniej, przez drugi więcej (najwięcej przez cynk, najmniej przez srebro); jeśli wówczas przyłożyć nieprzerwany, dobry przewodnik, to płyn zostaje wprowadzony w obieg. Jeśli teraz nerwy udowe odpreparowanej żaby stanowią jakąkolwiek część tego przewodzącego obwodu,to mięśnie lub

*) Ogłoszony w. r. 1794 w Giornale Fisico-medico Brugnatelli'ego Ostw. Klass. № 114, str. 106.

posłuszne nerwom członki zostają wprawione w drgania, gdy tylko wytworzenie obwodu przewodzącego wywołuje podobny prąd elektryczny i ilekroć, po przerwaniu, wytworzyć go znów należy. Jeśli zamiast nerwów służących do ruchów, w obwodzie przewodzącym znajdują się nerwy smakowe lub wzrokowe, to zostaje wzbudzone odpowiednie czucie smaku lub światła; a te czucia i te ruchy są tem żywsze, im oba użyte metale bardziej są od siebie oddalone, licząc w przytoczonym porządku:

cynk,	miedź,
cynfolja,	platyna,
cyna zwykła w płytach,	złoto,
ołów,	srebro,
żelazo,	rtęć,
mosiądz i bronz o różnym składzie,	grafit z ołówka ⁵⁾

Do tego można w końcu jeszcze dodać niektóre węgle drzewne, te mianowicie, które przewodzą prawie tak, jak metale, podczas gdy inne nadają się do tego celu źle lub wcale....

.....

Ale czyż można to, co wskazuje tu na elektryczność zwierzęcą, uważać za coś właściwego organom i pierwiastkowemu? Czy nie jest raczej o wiele więcej prawdopodobnem, że one zachowują się biernie tylko, że są jedynie bardzo czułymi elektrometrami, że natomiast właściwie czynnymi są metale; że mianowicie przez zetknięcie ostatnich płynowi elektrycznemu udziela się popędu; że wogóle metale te nie tylko przewodzą, ale naprawdę pędzą elektryczność? Co mówię: więcej prawdopodobnem? Jest całkowicie widocznem, że wszystko tu zależy od metali i od różnego ich składu, ponieważ do udania się doświadczeń trzeba koniecznie, aby oba metale były niejednakowe. Więc zamiast mówić o elektryczności zwierzęcej, miałoby się równe prawo do nazywania jej elektrycznością metaliczną⁶⁾.

Niechaj mi nikt nie zarzuca, że czasem można otrzymać ruchy u żab, preparowanych sposobem Galwaniego przykładając do jednej i drugiej części metale nawet o jedna-

kowych własnościach, mianowicie srebro i srebro, rtęć i rtęć, cynę i cynę, żelazo i żelazo. Tak, otrzymuje się je (ale nie zawsze) w pierwszych chwilach, gdy zwierzę, odpreparowane jaknajlepiej, tak jest jeszcze pobudliwe, że odczuwa rzeczy najdrobniejsze. Ale jak można utrzymywać, że metale użyte są dokładnie i zupełnie jednakowe? Są one takimi tylko z pozoru, nie z istoty; własności przypadkowe, jak miękkość, twardość, gładkość i blask powierzchni, ciepło i t. d. mogą je uczynić wystarczająco różnymi pod względem działania elektrycznego....

Nie zadowolilem się jednak samymi domysłami, choć były one oparte na słusznych podstawach analogii, lecz chciałem przekonać się doświadczeniem, czy i o ile wymienione własności przypadkowe decydowały o działaniu metali na płyn elektryczny. W tym celu wygiąłem gruby drut z żelaza sprężynowego i próbowałem, czy przez zanurzenie obu jego końców w dwu szklankach z wodą, w których była zawieszona świeżo i dokładnie odpreparowana żaba, mianowicie w jednej tylnymi kończynami, a w drugiej grzbietem lub mleczem pacierzowym (gdy tylko ten był na niej poznaczony), uda mi się doprowadzić ją do skurczów i podskoków. Przy pierwszych razach udawało mi się to istotnie, mianowicie dwa, trzy, cztery razy; ale mniej więcej po minucie już nie; i muszę powiedzieć, że z różnych drutów żelaznych, o jakie się wystarałem, znalazłem jeden tylko, który nie działał od samego początku. To samo było z kilkoma łukami srebrnymi i kilkoma miedzianymi, które, jak znalazłem, nie były czynne przy żadnym doświadczeniu. Istnieją więc wszystkie powody do mniemania, że te, które się okazały nieczynne, były na obu końcach równe sobie pod względem twardości i wszystkich innych własności, co w innych nie miało miejsca, gdyż przecie bardzo trudno i niezmiernie rzadko się zdarza, aby istniała pod tym względem całkowita we wszystkich punktach i zupełna równość. Gdy więc znalazłem jeden z tych drutów żelaznych, który, po kilkakrotnem sprawdzeniu, od samego początku nie dawał żadnych objawów, a wyczerpana żaba nie była już pobudzana przez

te, które początkowo w ruch ją wprowadzały, wtedy zanurzyłem jeden koniec tego łuku na jakąś minutę do wrzącej wody, wyjąłem go i, nie dając mu czasu na ostygnięcie, powtórzyłem doświadczenie z żabą w obu szklankach zimnej wody; przy powtarzaniu doświadczenia żaba skurczyła się, i to dwa, trzy, cztery razy, dopóki koniec drutu nie ostygł wskutek powtarzanych, krócej lub dłużej trwających zanurzeń i wskutek dłuższego wystawienia na powietrze i nie stał się w ten sposób niezdolnym do wzbudzania konwulsji w zwierzęciu. Następnie wyżarzyłem jeden z końców tego drutu i zmięczyłem go w ten sposób, podczas gdy drugi koniec pozostał zahartowany, i oto znów odzyskał on własność wywoływania ruchów w żabie nawet po ostygnięciu i to przez czas dość długi, jako że zwierzątko nie było jeszcze osłabione.

Przez te doświadczenia zostało dowiedzione, że już ciepło coś znaczy, a jeszcze więcej zahartowanie, i że dwa kawałki jednego i tego samego metalu, gdy są zahartowane niejednakowo, stają się przez to zdolne do działania rozmaicie czyli z siłą nierówną na płyn elektryczny przy zetknięciu z wodą lub ciałem zwilżonem, tak jakby to czyniły dwa różne metale.

Powtarzałem te doświadczenia z paskami blachy mosiężnej, srebrnej i cynowej—i to z tym samym wynikiem....

.....

Jeśli po tem wszystkim Galvani i inni zechcą jeszcze twierdzić, że (przynajmniej w tych wypadkach, kiedy dwa metale jednakowe lub dwa końce tego samego kawałka metalu służą do wzbudzania silnych lub słabych skurczów i ruchów w żabie, odpreparowanej jego sposobem) pobudzenie płynu elektrycznego jest powodowane tylko przez same narządy zwierzęcia, że zatem istnieje jeszcze elektryczność zwierzęca w przyjętem przez niego znaczeniu—to odpowiem, że zaprzeczam, aby te metale, przez które zostały otrzymane wspomniane zjawiska były zupełnie i całkowicie jednakowe, i twierdzę, że były różne pod względem twardości albo

gładkości i blasku... Galvani musi dowieść, że pod względem wspomnianych i innych, nie rozpoznanych jeszcze własności nie zachodzi najmniejsza nawet różnica, któraby mogła mieć wpływ; żadna, mówię, różnica dostrzegalna, czy niedostrzegalna pomiędzy końcami metalu, zanurzonymi ten w jednej, tamten w drugiej szklance *)...

O elektryczności, wzbudzonej jedynie przez zetknięcie różnych rodzajów substancji przewodzących*).

LIST DO SIR JÓZEFA BANKS'A.

Como 20 marca 1800 r.

Po długim milczeniu, którego nie będę się starał usprawiedliwiać, mam przyjemność udzielenia Panu, a przez Pana Towarzystwu Królewskiemu wiadomości o pewnych uderzających wynikach, do jakich doszedłem, rozwijając moje doświadczenia nad elektrycznością, wywołaną przez proste zetknięcie wzajemne metali różnego rodzaju lub nawet innych przewodników także różnych od siebie, czy to płynnych, czy też zawierających tylko jakąś wilgoć, której właściwie zawdzięczają swe przewodnictwo. Najistotniejszym z tych wyników, obejmującym nieomal wszystkie inne, jest sporządzenie przyrządu, który przez swe działanie, t. j. przez uderzenia, jakie wywołuje w rękach i t. d., podobny jest do butelki lejdejskiej lub raczej do słabo nabitej baterii elektrycznej, która jednak działa nieustannie albo której nabój odnawia się sam przez się po każdym wybuchu; która, innymi słowy, posiada nabój niewyczerpany, stałe działanie

*) „On the electricity excited by the mere contact of conducting substances of different kinds“, drukowane po francusku w Philosophical Transactions z r. 1800. Ostw. Klass. № 118, str. 76.

na płyn elektryczny, czyli popęd (impulsion). Przyrząd ten różni się jednak pozatem całkowicie od butelki lejdejskiej, zarówno przez owo właściwe mu działanie stałe, jak i przez to, że zamiast składać się, jak zwykłe butelki i baterye elektryczne, z jednej lub kilku płyt odosabniających lub cienkich warstw tych ciał, uważanych jako jedynie elektryczne, a obłożonych przewodnikami, czyli ciałami anelektrycznymi—naodwrot, zbudowany jest wyłącznie z kilku tych ostatnich ciał, wybranych z pośród najlepszych przewodników, które więc, według mniemania powszechnego, są najbardziej oddalone od natury elektrycznej⁸⁾. Tak, przyrząd, o którym mówię i który niewątpliwie wprowadzi Pana w zdumienie, nie jest niczem więcej, jak tylko zestawieniem pewnej liczby przewodników różnego rodzaju, które następują po sobie w sposób określony. Trzydzieści, czterdzieści, sześćdziesiąt lub więcej kawałków miedzi lub lepiej srebra, z których każdy położony jest na kawałku cyny lub, znacznie lepiej, cynku i równa liczba warstw wody lub innej jakiej cieczy, przewodzącej lepiej niż woda zwykła, jak: woda osolona, ług i t. d., lub też kawałki tektury, skóry i t. p., dobrze przepojone temi cieczeniami, te kawałki włączone pomiędzy każdą parę, czyli pomiędzy każde połączenie dwóch różnych metali: tego rodzaju następczość stałe w tym samym porządku trzech rodzajów przewodników—oto wszystko, z czego składa się mój nowy przyrząd, który, jak powiedziałem, naśladuje działanie butelek i bateryi elektrycznych, dając te same co one wstrząśnienia; przytem, coprawda, jego zdolność działania pod względem siły i hałaśliwości wybuchów, blasku iskry, odległości iskrowej i t. d., jest znacznie słabsza niż działanie bateryi silnie nabitych; podobny jest pod względem działania zaledwie do bateryi słabo nabitej, posiadającej natomiast pojemność nadzwyczajną, prześciga jednak nieskończenie siłę i zdolność tych bateryi tem, że nie wymaga, jak one, nabicia uprzedniego elektrycznością obcą i że jest w stanie dać uderzenia za każdym razem, gdy go się dotknie odpowiednio, chociażby te dotknięcia powtarzały się jaknajczęściej.

Przyrząd ten, który, jak to wykażę, zarówno co do swej istoty, jak i nadanego mu kształtu jest o wiele podobniejszy do naturalnego narządu elektrycznego węgorza, raji elektrycznej i t. d., niż do butelki lejdejskiej i znanych baterii elektrycznych, nazwałbym sztucznym narządem elektrycznym. I czyż nie jest on istotnie, jak tamte, złożony wyłącznie z materii przewodzących? czyż nie jest nadto czynny sam z siebie, bez uprzedniego nabicia?

Podaję tu Panu opis szczegółowy tego przyrządu i paru innych podobnych, oraz odnośnych a godnych uwagi doświadczeń.

Przygotowuję sobie parę tuzinów małych okrągłych płytek lub krążków z miedzi, mosiądzu lub lepiej srebra, cal lub nieco więcej w średnicy (np. monet) i równą liczbę płytek z cyny lub, co jest znacznie lepsze, z cynku, o kształcie i wielkości w przybliżeniu jednakowych... Sporządzam oprócz tego dostateczną liczbę krążków z tektury, skóry lub innego materiału porowatego, zdolnego do pobrania i zatrzymania dużej ilości wilgoci albo wody, którą krążki muszą być dobrze nasiąknięte, aby się doświadczenie udało. Te warstwy lub krążki, które nazywam płytkami wilgotnymi, czynię nieco mniejszemi, niż płytki metalowe, aby nie wystawały poza nie, gdy zostaną pomiędzy nie włożone w sposób który zaraz opiszę.

Gdy mam pod ręką wszystkie te części w dobrym stanie, t. j. płytki metalowe dobrze oczyszczone i suche, a niemetalowe dobrze nasiąknięte wodą zwykłą lub lepiej słoną, a potem zlekka osuszone, aby płyn z nich nie ściekał, wystarczy tylko uporządkować je odpowiednio; a porządek ten jest prosty i łatwy.

Kładę więc poziomo na stół lub na jaką inną podstawę jedną z płytek metalowych, np. srebrną, na niej kładę cynkową, a na tej jedną z płytek wilgotnych, potem drugą srebrną, za nią następuje bezpośrednio cynkowa, na którą znów kładę płytkę wilgotną. Postępuję dalej w ten sposób, t. j. składając zawsze do pary płytkę cynkową ze srebrną, t. j. zawsze srebro na dole a cynk na górze lub odwrotnie,

zależnie od tego, jak rozpocząłem, i kładąc pomiędzy każdą parę płytkę wilgotną⁹⁾; postępuję tak dalej, powtarzam, aby z wielu takich pięter zbudować stos tak wysoki, jaki się może utrzymać, nie upadając.

Gdy już jest tak wysoki, że zawiera 20 do 30 pięter czyli par metali, jest już w stanie nie tylko powodować w elektrometrze Cavallo'a zapomocą kondensatora¹⁰⁾ wychylenia przeszło o 10 lub 15 stopni, nabijać kondensator przez proste zetknięcie, tak że ten wydaje iskry i t. d., ale i palcom, które dotykają takiego stosu na obu końcach, t. j. przy podstawie i wierzchołku, udziela jednego lub kilku drobnych uderzeń, które się powtarzają przy ponawianem dotknięciu; każde z tych uderzeń jest podobne do lekkiego wstrząśnienia, jakie daje słabo nabita butelka lejdejska albo jeszcze o wiele słabiej nabita bateria lub wreszcie wyczepana raja elektryczna, która najlepiej naśladuje działanie mego przyrządu z punktu widzenia powtarzających się uderzeń, jakich może udzielać bez ustanku...

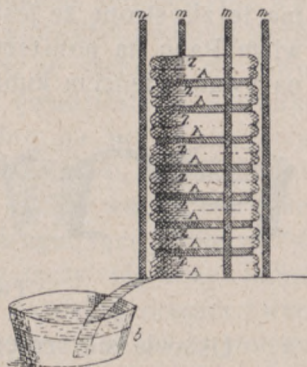


Fig. 9. Stos Volty.

Zresztą działanie mego przyrządu (uderzenia, jakie się otrzymuje) stają się znacznie dotkliwsze w miarę tego, jak wzrasta temperatura otaczającego powietrza, wody lub płytek wilgotnych, które się znajdują w stosie... gdyż ciepło czyni wodę lepiej przewodzącą. Co jednak jeszcze lepiej wywołuje ten sam skutek, to wszystkie prawie sole, a w szczególności sól zwykła. Jest to jedna z przyczyn, jeśli nie jedyna, dlaczego jest korzystną rzeczą, gdy woda pomiędzy... parami metali, woda, którą są nasiąknięte krążki tekturowe i t. p., jest osolona, jak o tem już wspominałem...

.....

Aby powrócić do urządzenia mechanicznego mego przyrządu, nadającego się do wielu odmian, nie będę tu wprawdzie

opisywał wszystkich, jakie obmyśliłem i wykonałem na dużą lub małą skalę, lecz niektóre tylko, szczególnie ciekawe i użyteczne; przedstawiają one istotną korzyść, gdyż dają się zestawić łatwiej i dogodniej, są pewniejsze w działaniu lub dają się dłużej utrzymać w dobrym stanie.

Aby zacząć od jednego z urządzeń, które jednoczy prawie wszystkie te korzyści i przytem kształtem swym najbardziej się odchyła od powyżej opisanego stosu, które jednak ma tę złą stronę, że jest machiną o wiele większą—przedstawiam Panu na poniższym rysunku ten nowy przyrząd, który nazywam wieńcem kubków.



Fig. 10. Bateria Volty.

Ustawia się szereg kubków lub garnków z dowolnego materiału, za wyjątkiem metali: kubki drewniane, muszle, naczynia gliniane, a lepiej szklane (małe szklanki lub czarki są najodpowiedniejsze), napełnione do połowy wodą zwyczajną lub lepiej osoloną, albo ługiem; łączy się je i tworzy z nich rodzaj łańcucha zapomocą takiej samej ilości łuków metalowych, których jedno ramię *Aa* lub też tylko koniec *A*, zanurzony w jednym z kubków, jest z miedzi, mosiądzu lub lepiej z miedzi posrebrzonej, podczas gdy drugie *Z*, zanurzone w następnym kubku, jest z cyny lub lepiej z cynku... Oba metale, z których składa się każdy łuk, są zlutowane w miejscach dowolnych, lecz powyżej tych miejsc, które się zanurzają w cieczy; z tą ostatnią łuk musi się stykać dostatecznie wielką powierzchnią, więc jest stosownem, aby ta część składała się z płytki, mającej cal kwadratowy lub niewiele mniej; reszta łuku może być tak wązka, jak się chce, — choćby ze zwykłego drutu metalowego. Może się też składać z trzeciego metalu, różnego od tych, które są zanurzone w cieczy kubków, gdyż działanie na płyn elektryczny, jakie dają wszystkie

zetknięcia kilku bezpośrednio po sobie następujących metali, czyli siła, z jaką pędzą ten płyn ku końcowi, jest bezwzględnie lub prawie taka sama, jak siła otrzymana przez bezpośrednie zetknięcie pierwszego metalu z ostatnim, bez żadnego metalu pośredniego, co potwierdziłem doświadczeniami bezpośrednimi¹¹).

.....
Ustawmy trzykroć po dwadzieścia filiżanek lub kubków i połączmy je z sobą w łańcuch łukami metalowymi, lecz w ten sposób, żeby w pierwszych dwudziestu łuki były zwrócone w tę samą stronę, np. ramiona ze srebrem na lewo, z cynkiem na prawo; ale w drugich dwudziestu w kierunku odwrotnym, t. j. cynk na lewo, srebro na prawo; wreszcie w ostatnich dwudziestu srebro znów na lewo, jak na początku. Po takim ustawieniu zanurzymy palce w wodzie pierwszego kubka i dotknijmy trzymaną w drugiej ręce płytką pierwszego łuku metalowego (tego, który łączy pierwszy kubek z drugim), następnie drugiego łuku pomiędzy drugim i trzecim kubkiem, i potem po kolei następnych aż do ostatniego. Jeśli woda jest dobrze osolona i ciepła, a skóra ręki dobrze zmoczona i zmięczona, poczujemy małe wstrząśnienia w palcach już po dojściu do czwartego lub piątego łuku, a przy przechodzeniu po porządku do szóstego, siódmego i t. d. uderzenia stopniowo wzmogą się aż do dwudziestego łuku, t. j. do ostatniego, zwróconego w tę samą stronę; jeśli jednak przejdziemy dalej do 21, 22, 23, czyli pierwszego, drugiego, trzeciego drugiej dwudziestki, to uderzenia będą za każdym krokiem słabsze i to tak, że przy 36 lub 37 stają się niedostrzegalne i zupełnie zanikają przy 40; gdy ten przekroczyć (i zacząć trzecią dwudziestkę, skierowaną odwrotnie do drugiej, lecz analogicznie z pierwszą), uderzenia będą niedostrzegalne aż do 44 lub 45; odtąd będą dostrzegalne i będą się wznosiły stopniowo, w miarę posuwania się do 60, przy którym staną się tak silne, jak przy 20 łuku. Gdyby dwadzieścia środkowych łuków obrócić w tym samym kierunku, co dwadzieścia poprzedzających i dwadzieścia następnych, gdyby więc wszystkie 60 współdziałały w pędze-

niu płynu elektrycznego w tym samym kierunku, to łatwo zrozumieć, o ile działanie byłoby w końcu większe, a wstrząśnienie silniejsze¹²⁾....

Gdy łańcuch albo wieniec kubków jest dość długi i może dać silne uderzenie, to odczuje się je nawet, co prawda o wiele słabiej, jeśli zanurzyć obie ręce w jednym tylko dość dużym naczyniu z wodą, w którym kończą się pierwszy i ostatni łuk metalowy, o ile tylko jedna lub druga z zanurzonych rąk lub lepiej obie dotykają tych łuków lub są dość blisko nich; odczuje się, powiadam, uderzenie, skoro tylko (po przerwaniu w jakikolwiek sposób łańcucha) wznowi się połączenie i zamknie obwód w którykolwiek ze wspomnianych sposobów. Można by się zadziwić, że prąd elektryczny w tym obwodzie, chociaż ma przejście swobodne przez nieprzerwaną masę wody, mianowicie przez wodę w naczyniu, opuszcza ten dobry przewodnik, aby przejść przez ciało osoby, która zanurzyła ręce w wodzie, i w ten sposób nakłada drogę. Ale to zdziwienie ustąpi, jeśli rozważyć, że żyjące i ciepłe materye zwierzęce, a szczególnie ich wilgotność są wogóle przewodnikami lepszymi, niż woda. Więc ciało osoby, która włożyła ręce w wodę, daje prądowi elektrycznemu przejście łatwiejsze, i ten musi je wybrać, pomimo że jest dłuższe. Ponieważ zresztą płyn elektryczny, gdy ma przeniknąć przewodniki niedoskonałe w większej masie, w szczególności przewodniki wilgotne, lubi się rozlać szerszym korytem lub rozdzielić się na kilka części, a nawet obejść dłuższą drogą, jeśli znajdzie tam opór mniejszy, więc i w naszym wypadku tylko część prądu elektrycznego obiera sobie drogę przez osobę i oddala się od wody, druga część, większa lub mniejsza, przechodzi przez wodę w naczyniu. To jest powodem, dlaczego uderzenie, jakie się czuje, jest o wiele słabsze, niż wtedy, gdy prąd elektryczny pozostaje niepodzielonym, gdy jedynie człowiek stanowi połączenie od jednego łuku do drugiego¹³⁾....

Koniec listu zajmuje opis paru drobnych ulepszeń stosu, stwierdzenie działania prądu elektrycznego na rozmaite zmysły, wreszcie

przeprowadzenie analogii pomiędzy budową narządu elektrycznego ryb elektrycznych a urządzeniem stosu.

W ciągu całej pracy nad powstawaniem prądów galwanicznych Voltę zajmowało pytanie, w którym miejscu obwodu, złożonego z trzech przewodników, należy szukać źródła napięcia elektrycznego; jest to istotnie jedna z najważniejszych kwestyi, jakie się nasuwają przy rozważaniu działania ognia elektrycznego; istnieją tu dwie możliwości: różnica potencjału powstaje albo w miejscu zetknięcia metali z sobą, a przewodnik ciekły (elektrolit) służy tylko do przenoszenia napięcia od jednej pary metali do drugiej; albo—w miejscu zetknięcia metali z elektrolitem, a zetknięcie metali gra rolę drugorzędną. Volta, po długich wahaniach, doszedł w końcu do przekonania, że słusznem jest pierwsze przypuszczenie; opierał się przytem na własnych doświadczeniach, które wykazały, że płytki z różnych metali elektryzują się w sposób widoczny przy dotknięciu wzajemnem, że natomiast elektryzacja przy zetknięciu metalu z przewodnikiem ciekłym jest ledwo dostrzegalna. Od tego czasu poświęcono temu zagadnieniu mnóstwo prac doświadczalnych i teoretycznych; zauważono, że teoria Volty, t. zw. teoria kontaktowa, nie uwzględnia wcale zjawisk chemicznych, związanych nierozdzielnie z powstawaniem prądu w ogniwie; de la Rive przeciwstawił jej w r. 1836 teorię chemiczną ogniw, szukając źródła prądu tam, gdzie się odbywają zmiany chemiczne, t. j. na powierzchni zetknięcia metalu z elektrolitem. Stosunek obu zjawisk: elektrycznych i chemicznych mógł być ujęty dokładnie dopiero po odkryciu zasady zachowania energii; istotnie Helmholtz stwierdził (r. 1847), że energia prądu elektrycznego ma swój całkowity równoważnik w procesach chemicznych, odbywających się w ogniwie. Dalszem poparciem teorii chemicznej było stwierdzenie przez Ostwalda w r. 1887, iż, wbrew twierdzeniom Volty, pomiędzy metalami i elektrolitami istnieją napięcia tak znaczne, że wystarczają zupełnie do wytłómaczenia powstawania siły elektrobodźczej ogniw; napięcie pomiędzy metalami musi być więc żadne lub nader słabe. To samo twierdzi Nernst w swej teorii zjawisk elektrochemicznych (r. 1880), zakładając, że napięcie elektryczne istnieje tylko pomiędzy ciałami, zawierającymi jony (ob. Farady) tych samych pierwiastków w różnej koncentracji. Podstawę teorii stanowi dążenie ciał do przecho-

dzenia z fazy stałej lub z roztworów stężonych do bardziej rozcieńczonych, czego znanym objawem jest zjawisko dyfuzji; wyrównanie stężeń może się w niem odbywać wbrew sile ciężkości, dzięki t. zw. ciśnieniu osmotycznemu; ono więc jest miarą ilościową tego dążenia. Metal, zanurzony w wodzie, posiada tę samą dążność; pewna, choć nadzwyczaj drobna ilość jonów dodatnich metalu, czyli cząsteczek jego, obdarzonych nabojem dodatnim, odrywa się od metalu i przechodzi do wody, elektryzując ją dodatnio; sam metal zaś, tracąc jony, nabiera elektryzacji ujemnej; wskutek tego powstaje różnica potencjału czyli napięcie pomiędzy metalem a wodą; to napięcie będzie przeciwdziało przechodzeniu dalszych jonów z metalu do wody i wkrótce wytworzy się stan równowagi; potrzebne do tego napięcie będzie miarą „rozpuszczalności“ metalu, będzie więc różnem dla różnych metali. Jeśli woda zawiera już jony danego metalu, np. w postaci rozpuszczonej soli, to dążność jonów do przechodzenia z metalu stałego do roztworu już o pewnym stopniu nasycenia będzie słabsza, to też wytworzona różnica potencjału będzie mniejsza. Przy zetknięciu dwóch roztworów o różnej koncentracji jony z roztworu tęższego będą przechodziły do słabszego, znów wytwarzając różnicę potencjału na granicy obu roztworów i to tem większą, im większą jest różnica koncentracji. Na tem opiera się budowa t. zw. ogniw koncentracyjnych, w których metal umieszcza się pomiędzy dwoma roztworami soli tegoż metalu o różnem stężeniu. Teorya Nernsta najlepiej ze wszystkich znanych zgadza się z doświadczeniem. Zwolennicy teorii chemicznej utrzymują, że doświadczenia Volty były błędne, gdyż pomiędzy użytymi przezeń płytkami musiała się znajdować warstwa wilgoci lub gazów, okludowanych przez metale, trudna do usunięcia nawet przy największych staraniach, i że ta właśnie warstwa powodowała przy zetknięciu z metalami, powstawanie napięć, mierzonych przez Voltę. Istotnie dalsze badania wykazały, że wielkość napięć pomiędzy metalami nie jest wielkością niezmienną, lecz zależy od szeregu okoliczności ubocznych. Ale nawet przy bardzo starannych doświadczeniach w próżni metale wykazywały różnice potencjału, choć drobne i znacznie mniejsze od tych które otrzymał Volta. Jest to w zgodzie ze zjawiskiem, odkrytem w r. 1834 przez Peltier'a: przy przechodzeniu prądu elektrycznego przez spojenie dwóch różnych metali ciepło w miejscu spojenia zostaje albo pochłaniane, albo wydzielane, zależnie od kierunku prądu, zależnie więc od tego, czy prąd płynie wbrew, czy też zgodnie z napięciem, jakie panuje

pomiędzy obu metalami. Z wielkości efektu cieplnego można obliczyć to napięcie; rachunek daje wartości wiele mniejsze od siły elektromotorycznej odpowiednich ogniw, mniejsze też od napięć, mierzonych bezpośrednio przez Voltę. Napięcie pomiędzy czystymi metalami może więc stanowić tylko nieznaczną część całkowitej siły elektromotorycznej w ogniwach.

UWAGI.

- ¹⁾ (Str. 52) Ob. Franklin, uwaga 3.
- ²⁾ (Str. 53) Dziś powiedzielibyśmy: galwanometru, gdyż nie wykazuje istnienia naboji, lecz przepływ prądów elektrycznych.
- ³⁾ (Str. 54) W myśl teorii Franklin'a.
- ⁴⁾ (Str. 57) To odkrycie było o tyle ważnym w rozwoju badań Volty, że dawało mu do ręki nowy rodzaj galwanoskopu, o tyle doskonalszy od pierwotnego (żaby), że pozwalał na rozpoznawanie kierunku prądu, gdyż np., jak to stwierdził Volta w innym liście, jeśli zamienić wspomniane okładki: srebrną i cynową, smak zamiast kwaśnego staje się ługowym. Wrażenie smaku jest tu prawdopodobnie uwarunkowane elektrolizą soli, zawartych w ślinie.
- ⁵⁾ (Str. 59) Jest to pierwszy przykład t. zw. szeregu Volty, następnie rozszerzonego przez Voltę i innych badaczy. Ten sam porządek znalazł Volta, badając elektryzowanie metali przy zetknięciu bezpośrednim, bez udziału przewodników wilgotnych. (ob. str. 70).
- ⁶⁾ (Str. 59) Volta widział więc źródło prądu w zetknięciu metali. (Porównaj str. 69).
- ⁷⁾ (Str. 62). Volta nie uwzględniła, że różnica może też zachodzić we własnościach tkanek, z którymi stykają się końce drutu. Du Bois-Reymond, a za nim i inni fizyologowie badali tę sprawę i dowiedli, że zapomocą przewodnika zupełnie jednorodnego można od organizmu zwierzęcego odbierać prąd elektryczny, jeśli w miejscach zetknięcia z przewodnikiem zachodzą różne procesy fizjologiczne, choćby w obrębie jednej i tej samej tkanki (Hermann

1868). Takie prądy należą już do dziedziny elektryczności zwierzęcej; nazwie tej nadajemy jednak dziś inne znaczenie niż Galvani.

⁸⁾ (Str. 63) Porównaj Galvani uwaga 1).

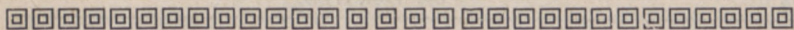
⁹⁾ (Str. 65) Sposób szeregowania płytek odpowiada ostatecznej opinii Volty, że źródłem prądu jest kontakt dwóch metali; stąd powtarzające się wyrażenie „para metali“ i zaczynanie oraz kończenie stosu taką parą; dziś zaczynamy od jednego metalu, a kończymy drugim, układając płytki „trójkami“: *Zn* (ciecz) *Cu*.

¹⁰⁾ (Str. 65) Elektrometr ten składał się z kulek z rdzenia bżowego, zawieszonych na cienkich drucikach. Użycie kondensatora było pomysłem Volty, (ob. życiorys).

¹¹⁾ (Str. 67) Wspomniane doświadczenia, opisane w liście do de Lamétherie, polegały na mierzeniu zapomocą czułego elektroskopu i kondensatora napięć, wywołanych przez zetknięcie różnych metali; znalazł w nich Volta, że, jeśli pomiędzy dwa metale *A* i *B* włączyć szereg innych, *CDE...K*, to suma napięć pomiędzy kolejnymi parami, *A/C*, *C/D*, *D/E...K/B*, równa się napięciu zetknięcia bezpośredniego metali krańcowych *A/B*. Jest to t. zw. prawo szeregu Volty. Stosują się do niego tylko przewodniki, nieulegające rozkładowi przez prąd, czyli tak nazwane przez Voltę przewodniki pierwszej klasy; ta ich własność wynika zresztą wprost z zasady zachowania energii, gdyż, gdyby tak nie było, to w obwodzie, złożonym np. z samych metali, powstałby prąd elektryczny, a energia jego nie posiadałaby żadnego równoważnika. Przewodniki drugiej klasy, ulegające rozkładowi przez prąd elektryczny, nie stosują się do prawa szeregu, więc w obwodzie, w skład którego wchodzi, mogą powstawać prądy na koszt energii zachodzącego przy tem procesu chemicznego. (Porównaj str. 69).

¹²⁾ (Str. 68) To doświadczenie jest niezmiernie ważne, gdyż stwierdza podstawową właściwość napięć elektrycznych, t. j. możliwość ich sumowania; na tej podstawie oparta jest nie tylko budowa stosu i baterii elektrycznych, ale i najrozmaitszych przyrządów indukcyjnych, baterii termoelektrycznych i t. d.

¹³⁾ (Str. 68) W tem miejscu Volta wykazuje doskonałe zrozumienie stosunków, zachodzących przy przechodzeniu i rozgałęzianiu prądów elektrycznych. Prawa, odkryte przez Ohm'a i Kirchhoff'a, wyrażają to samo w formie matematycznej.



JAN CHRISTIAN OERSTED.

(1777.—1851).

Najważniejszym, zarówno teoretycznie, jak i praktycznie, działaniem prądu elektrycznego jest wytwarzanie pola magnetycznego. Pod tym jednym wyrazem ukrywa się wielka liczba poszczególnych a nader doniosłych zjawisk, a więc odchylenie igły magnetycznej, przyciąganie lub odpychanie innych prądów, wzbudzenie magnetyzmu w prętach żelaznych, wytwarzanie prądów indukcyjnych, zjawiska samoindukcyi, wreszcie powstawanie fal elektromagnetycznych. Narodziny nauki o zjawiskach elektromagnetycznych są więc datą szczególnie ważną dla fizyki. Odkrycie tej nowej dziedziny badań zawdzięczamy duńskiemu fizykowi Oersted'owi. Urodzony jako syn aptekarza w małym miasteczku, wykształcenie początkowe zdobywał drogą samouctwa razem z młodszym bratem, późniejszym znakomitym mężem stanu i ministrem duńskim; książki, jakie mogli zdobyć, i pracownia ojca zastępowały im szkołę; pracowali tak dzielnie, że po krótkim przygotowaniu obaj zdali egzaminy w Kopenhadze i wstąpili na uniwersytet: Jan Christian studyował początkowo medycynę, potem przyrodę, nie zaniedbując przytem filozofii i językoznawstwa. Jako profesor fizyki w uniwersytecie kopenhaskim i w szkołach wojskowych, a później dyrektor politechniki, Oersted pracował doświadczalnie nad fizyką i chemią i wówczas, w r. 1820, odkrył działanie prądu elektrycznego na igłę magnesową; odkrycie to stwierdziło podejrzwany przez wielu fizyków i gorliwie poszukiwany związek pomiędzy elektrycznością i magnetyzmem. Oersted również wykazał i wymierzył ściśłość wody i innych cieczy zapomocą zbudowanego przez siebie piezometru.

Pociągały go przytem ogólne zagadnienia przyrodoznawstwa, spekulacye filozoficzne i estetyczne; myśli swe ogłosił w dwóch dziełach: „Nauki przyrodnicze w stosunku do poezyi i religii“ i „Duch w przyrodzie“; w drugiej z tych książek wypowiada poglądy, zgodne zupełnie z późniejszą teorią Darwin'a. Ceniony i szanowany powszechnie zmarł w r. 1851.

Doświadczenia nad działaniem konfliktu elektrycznego na igłę magnetyczną *).

Pierwsze doświadczenia nad przedmiotem, który pragnę wyjaśnić, były wykonane podczas wykładów o elektryczności, galwanizmie i magnetyzmie, które miałem w ciągu ubiegłej zimy. Z doświadczeń tych zdawało się wynikać, że igłę magnetyczną można wyprowadzać z jej położenia za pomocą przyrządu galwanicznego¹⁾ i to przy zamkniętym obwodzie galwanicznym, nie zaś przy otwartym, jak tego napróżno próbowali przed kilku laty niektórzy sławni fizycy²⁾. Ponieważ jednak doświadczenia te wykonano z niezbyt silnym przyrządem, przeto otrzymane zjawiska nie były wystarczające dla rzeczy tak doniosłej; wzięwszy więc do pomocy przyjaciela mego, radcę prawnego Esmarch'a, powtórzyłem i pomnożyłem razem z nim doświadczenia za pomocą wielkiego, wspólnie przez nas zestawionego przyrządu. Również i prezes rządu Wleugel był obecny przy naszych doświadczeniach jako uczestnik i świadek. Nadto świadkami doświadczeń byli: oddawna znany jako wyborny fizyk marszałek dworu Hauh, profesor historii naturalnej Reinhard

*) „Experimenta circa effectum Conflictus electrici in Acum magneticum“. Oryginał, drukowany na oddzielnym arkuszu i datowany 21 lipca 1820 r., był rozesłany przez autora Akademiom i uczonym. Przekład z tłumaczenia niemieckiego Gilbert'a, Ostwald's Klass. № 63.

profesor medycyny Jacobson, wyborny eksperymentator i znawca chemii, oraz dr. fil. Zeise. Często wykonywałem doświadczenia sam, ale, jeśli napotkałem przytem jakie nowe zjawisko, to powtarzałem je zgromadzeniu tych uczonych mężów.

Przy opisie naszych doświadczeń opuszczam te wszystkie, które doprowadziły wprawdzie do odkrycia, ale, gdy zostało już ono dokonane, nic się nie przyczyniają do jego wyjaśnienia, i ograniczam się do tych, z których natura przedmiotu wyraźnie wynika.

Przyrząd galwaniczny, którym posługiwaliśmy się, składa się z 20 kwadratowych naczyń miedzianych, z których każde ma 12 cali długości, 12 cali wysokości i $2\frac{1}{2}$ cala szerokości i każde jest zaopatrzone w dwa paski miedziane, tak pochylone, że mogą unosić pręt miedziany, który podtrzymuje płytę cynkową, zanurzoną w cieczy naczynia sąsiedniego. Do wody, którą były wypełnione naczynia, dodano kwasu siarkowego w stosunku $\frac{1}{60}$ jej ciężaru oraz tyleż kwasu azotowego, a część płyty cynkowej, zanurzona w każdym naczyniu, stanowiła kwadrat o długości boku równej 10 calom. Można jednak używać także i mniejszych przyrządów, aby tylko były w stanie rozżarzyć drut.

Wyobraźmy sobie, że przeciwne końce przyrządu galwanicznego są połączone zapomocą drutu metalowego. Dla krótkości będę go nazywał wprost przewodnikiem łączącym lub drutem łączącym; działanie zaś, zachodzące w tym przewodniku łączącym i wokoło niego, określe nazwą konfliktu elektrycznego³⁾.

1) Umieścimy prostolinjowy kawałek tego drutu łączącego w położeniu poziomem ponad zwykłą, swobodnie poruszającą się igłą magnetyczną tak, aby był względem niej równoległy; w tym celu można drut wyginać dowolnie bez szkody. Gdy wszystko jest już tak ustawione, igła porusza się i to tak, że uchyla się ku zachodowi z pod tej części drutu łączącego, która prowadzi od ujemnego końca przyrządu galwanicznego⁴⁾. Gdy odległość drutu od igły magnetycznej nie przekracza $\frac{5}{4}$ cala, odchylenie to wynosi

około 45° . Przy większej odległości kąty odchylenia zmniejszają się wraz z rosnącym oddaleniem. Zresztą odchylenia są różne, zależnie od różnej siły przyrządu.

Można przesuwając drut łączący ku wschodowi lub zachodowi, byleby pozostawał równoległym do igły: nie ma to żadnego innego wpływu na wynik, jak tylko zmniejszenie odchylenia. Nie można więc bynajmniej przypisywać tego działania przyciąganiu, gdyż ten sam biegun igły magnetycznej, który się zwraca ku drutowi łączącemu, gdy się ten znajduje na wschód od igły, odwraca się od drutu, gdy ten jest umieszczony od igły na zachód; nie byłoby to możliwym, gdyby odchylenia były powodowane przez przyciągania i odpychania.

2) Drut łączący może się składać z kilku połączonych drutów lub pasków metalowych. Natura metalu nie wpływa na wynik—jedynie może na jego siłę. Używaliśmy z równym powodzeniem drutów platynowych, złotych, srebrnych, mosiężnych i żelaznych, dalej pasków cynowych i ołowianych, wreszcie rtęci. Jeśli przewodnik jest przerwany przez wodę, to działanie ustaje niecałkowicie, chyba że przestrzeń wodna wynosi kilka cali.

3) Drut łączący działa na igłę magnetyczną poprzez szkło, metale, drzewo, wodę, żywicę, poprzez naczynia gliniane i poprzez kamienie; albowiem, kiedyśmy umieszczali pomiędzy drutem i igłą płytę szklaną, płytę metalową lub deskę, działanie nie ustawało, a nawet wszystkie trzy rzeczy razem zdawały się ledwo osłabiać działanie. Również mało wpływał elektrofor, płyta porfirowa i naczynie gliniane, nawet napełnione wodą. Doświadczenia nasze wykazały także, że wspomniane działania nie zmieniają się, gdy się bierze igłę magnesową, umieszczoną w puszcze mosiężnej, pełnej wody...

4) Gdy drut łączący znajduje się w płaszczyźnie poziomej poniżej igły magnesowej, to wszystkie wymienione działania odbywają się w kierunku odwrotnym, niż wtedy, gdy się znajduje w płaszczyźnie poziomej powyżej igły; pozatem wszystko odbywa się w ten sam sposób....

.....

5) Drut łączący, który znajduje się w tej samej płaszczyźnie poziomej, co i igła magnetyczna... i jest do niej równoległy, nie uchyla jej ani ku wschodowi, ani ku zachodowi, lecz wywołuje chwianie się w płaszczyźnie inklinacji tak, że biegun, w pobliżu którego ujemna siła elektryczna wchodzi do drutu, zostaje obniżony, jeśli drut znajduje się na zachód, a wzniesiony—jeśli na wschód od igły.

6) Jeśli drut łączący ustawić pionowo do płaszczyzny południka magnetycznego, pod czy nad igłą, to pozostaje ona w spoczynku, o ile drut nie jest dość blisko bieguna. Wówczas biegun zostaje podniesiony, jeśli wejście (elektryczności ujemnej) zachodzi po stronie zachodniej drutu, a opuszczony, jeśli ma miejsce po stronie wschodniej⁵⁾...

7) Igła miedziana, zawieszona na podobieństwo igły magnetycznej, nie porusza się pod działaniem drutu łączącego. Igła szklana lub lakowa też pozostaje w spoczynku przy podobnych doświadczeniach.

To wszystko pozwala na wyprowadzenie paru uwag, mogących wyjaśnić te zjawiska. Konflikt elektryczny ma możliwość oddziaływania jedynie na magnetyczne części materii. Wszystkie ciała niemagnetyczne zdają się przepuszczać przez siebie konflikt elektryczny, natomiast ciała magnetyczne, a raczej ich magnetyczne cząsteczki zdają się przeszkadzać przechodzeniu konfliktu elektrycznego, a stąd wynika, że mogą być wprowadzone w ruch przez zderzenie walczących sił⁶⁾.

Że konflikt elektryczny nie jest zamknięty w drucie przewodzącym, lecz, jak zaznaczono, rozchodzi się jednocześnie dość szeroko w otaczającej przestrzeni, to wypływa dostatecznie jasno z przytoczonych doświadczeń.

Z tego, co zostało zaobserwowane, można też wnioskować, że konflikt ów rozchodzi się po kołach; gdyż bez tego przypuszczenia wydaje się rzeczą niezrozumiałą, jakim sposobem jedna i ta sama część drutu łączącego, ustawiona pod jednym biegunem igły magnetycznej, może ją pędzić na wschód, a znajdując się nad tym samym biegunem, porusza

igłę na zachód; tymczasem ruch kołowy odbywa się w kierunkach odwrotnych na przeciwległych końcach średnicy. Wydaje się nadto, że ruch kołowy, połączony z ruchem postępowym wzdłuż przewodnika, musi zakreślać linię śrubową czyli spiralną⁷⁾, co jednak, jeśli się nie mylę, nic się nie przyczynia do wyjaśnienia zjawisk dotychczas obserwowanych.

Wszystkie przytoczone działania na biegun północny igły stają się zrozumiałe, jeśli przypuścić, że ujemna siła czy też materia elektryczna przebiega po linii śrubowej prawoskrętnej i odpycha biegun północny, nie działając na biegun południowy; tak samo zrozumiemy wszystkie działania na biegun południowy, jeśli dodatniej sile czy też materii elektrycznej przypiszemy ruch w kierunku przeciwnym i zdolność działania na biegun południowy, a nie na północny⁸⁾....

Teoretyczne wywody Oersted'a są z tego względu ciekawe, że zwracają uwagę na kołowy i przestrzenny charakter obserwowanego zjawiska; możnaby to uważać wprost za przebłyski Faradaya'owskiej idei pola magnetycznego, którego linie sił tworzą koła naokoło przewodnika; Oersted jednak nie dochodzi do jasnego poglądu na zjawisko i gubi się w mglistości stworzonego przez siebie pojęcia „Konfliktu elektrycznego“ (p. uw. 1), mieszczącego w sobie jednocześnie pojęcia prądu elektrycznego i pola magnetycznego. W objaśnieniu swoim Oersted dąży do sprowadzenia zjawiska do sił, działających centralnie, t. j. w kierunku prostej, łączącej elementy działające na siebie (elektryczność i bieguny magnetyczne), ale teoria jego jest zupełnie sztuczna i dowolna. W tym samym jeszcze roku dwaj francuscy uczeni Biot^{*)} i Savart stwierdzili poprzeczny charakter siły, która działa prostopadle do płaszczyzny, przechodzącej przez biegun magnetyczny i przez działający na niego przewodnik. Ampère, na podstawie swej teorii prądów elementarnych, istniejących w ciałach magnetycznych (ob. niżej).

*) Jan Chrzyciel Biot (1774—1862), fizyk i astronom francuski, profesor w Collège de France, członek Instytutu i Biura długości, wspaniał się pracami z astronomii, matematyki i optyki.—Życiorys Savart'a patrz tom I str. 116.

uznał prawo, odkryte przez Oersted'a, a sformułowane przez Biot'a i Savart'a, za konsekwencję prawa ogólniejszego, rządzącego wzajemnym oddziaływaniem prądów elektrycznych; on też dał prostsze prawidło, określające kierunek odchylenia magnesu (ob. Ampère).

Następujące daty mówią o niesłychanie szybkim rozwoju badań elektromagnetycznych, zapoczątkowanych przez odkrycia Oersted'a:

21 lipca 1820 Oersted odkrywa odchylenie igły magnetycznej przez prąd.

25 września 1820 Arago odkrywa magnesujące działanie prądu; później, na propozycję Laplace'a, wzmacnia to działanie przez spiralne nawinięcie drutu i buduje pierwszy elektromagnes.

25 września 1820 Ampère odkrywa działanie prądu na prąd i stwarza elektrodynamikę.

14 grudnia 1820 Seebeck*) opisuje dokładnie pole magnetyczne prądu.

5 lipca 1821 Seebeck odkrywa prądy termoelektryczne.

*) Tomasz Jan Seebeck, urodzony w Rewlu w 1770 r., spędził życie kolejno w Getyndze, Jenie (gdzie pracował razem z Goethe'm), Bayreucie i Berlinie. Początkowo zajmował się optyką, badał barwy, otrzymywane przy interferencji światła spolaryzowanego, obserwował polaryzację światła dziennego, odkrył nierównomierność rozkładu ciepła w widmie. Później pracował nad elektrycznością, badając pole magnetyczne prądu, zjawisko Arago i odkrywając zjawiska termoelektryczne.

UWAGI.

¹⁾ (Str. 75). T. j. baterii ogniwo elektrycznych.

²⁾ (Str. 75). Przypuszczano więc, że naboje statyczne mogą działać na bieguny magnetyczne.

³⁾ (Str. 76) Tym wyrazem oznacza autor nie tylko prąd elektryczny, ale i to, co dziś, idąc za Faraday'em, nazywamy polem magnetycznym prądu; sam termin „prąd elektryczny“ wprowadził w kilka miesięcy później Ampère.

⁴⁾ (Str. 76). Prawidło, podane przez Oersted'a jest zupełnie słuszne i zgadza się z prawidłem Ampère'a. Istotnie, w obu wypadkach, wyobrażonych na fig. 11, odchylenie igły magnetycznej, zgodnie z prawidłem Ampère'a, będzie takie, jak je rysunek przedstawia; w obu też razach biegun igły, bliższy bieguna ujemnego, zostaje odchyłony ku zachodowi; w pierwszym wypadku biegun S, w drugim — biegun N.

⁵⁾ (Str. 78). Wskazówki autora co do kierunku odchylenia są wierne, ale brak jeszcze jednolitego prawidła, któreby obejmowało wszystkie poszczególne wypadki; w parę miesięcy później dał je Ampère.

⁶⁾ (Str. 78). Zarówno nazwa „konfliktu“, jak i to ostatnie wyrażenie wskazują, że Oersted wyobrażał sobie proces w drucie przewodzącym jako jakieś gwałtowne starcie się dwóch rodzajów elektryczności, płynących z przeciwnych biegunów baterii.

⁷⁾ (Str. 79). Autor przypisywał więc ruch kołowy samej elektryczności.

⁸⁾ (Str. 79). Teorię spiralnego ruchu elektryczności autor stwarza widocznie „ad hoc“ dla wyjaśnienia odkrytego przez siebie zjawiska.

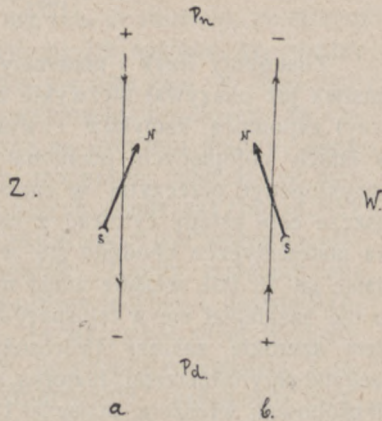
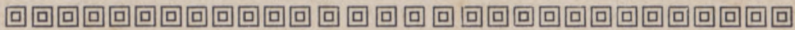


Fig. 11.



ANDRZEJ MARYA AMPÈRE.

(1775 — 1836).

Znakomity fizyk i matematyk urodził się w Lyonie. Od dzieciństwa już okazywał niezwykle zdolności; nie znając jeszcze cyfr, liczył zapomocą kamyków i wykonywał tą drogą zawiłe rachunki. W latach chłopięcych pochłoniął całą bibliotekę ojcowską, nawet Encyklopedyę przeczytał w całości, a po latach czterdziestu mógł jeszcze całe ustępy cytować z niej dosłownie. Chociaż zamiłowania matematyczne obudziły się w nim wcześniej i, jak sam mawiał, mając lat 18 tyle właśnie umiał matematyki, co i pod koniec życia, to nie zasklepiął się w tej specjalnej dziedzinie, lecz ogarniał umysłem szerokie zakresy twórczości ludzkiej, zajmując się filozofią, naukami przyrodniczymi, historią, a nawet poezją, w której sam swych sił próbował; wreszcie, mając lat 18, stworzył sztuczny język międzynarodowy. Żywa i wrażliwa natura Ampère'a została do głębi wstrząśnięta śmiercią ojca, który w r. 1793 zginął na szafocie z wyroku trybunału terorystycznego. Z głębokiego przygnębienia, w jakie popadł, wyrwały go listy Rousseau o botanice; zamiłowanie wiedzy zbudziło się z uśpienia, a reszty dokonała miłość, jaką powziął do spotkanego na wycieczce botanicznej dziewczęcia; w trzy lata później, w r. 1799, panna została jego żoną, lecz tylko 5 lat trwało ich szczęście. Śmierć żony rzuciła znowu na Ampère'a cień smutku i apatii, który go już nie opuścił do końca życia. Ten stan przygnębienia nie przeszkadzał mu jednak w twórczości naukowej. Pierwsza praca Ampère'a o matematycznej teorii gry otworzyła mu drogę do sławy i szczytów, po której odtąd kroczył szybko. Kolejno profesor uniwersytetu w Lyonie, docent i profesor analizy w Szkole Politechnicznej w Paryżu, profesor fizyki w Collège de

France, w r. 1814 był już członkiem Instytutu Francuskiego oraz wielu towarzystw naukowych zagranicznych. Głównym tytułem jego sławy naukowej stały się dopiero późniejsze jego prace nad siłami, wywieranymi przez prądy elektryczne; on stworzył nowy dział nauki — elektrodynamikę. Zapoznawszy się 11 września 1820 roku z pracą Oersted'a, już 18 września przedstawia Akademii własną rozprawę, w której, zamiast ciężkich określeń duńskiego fizyka, daje swe własne, słynne prawo kierunku odchylenia igły magnetycznej, oraz stwierdza wzajemne przyciąganie i odpychanie prądów elektrycznych, zależnie od tego, czy kierunki ich są zgodne, czy przeciwne. Użyty przez niego typ przyrządu, znany pod nazwą stolika Ampère'a, do dziś służy do wykazywania działania wzajemnego prądów elektrycznych. Dalsze doświadczenia następowały jedno po drugim; stwierdził niemi Ampère, że solenoid, po którym przebiega prąd elektryczny, zachowuje się jak magnes, że, między innymi, zawieszony swobodnie, ustawia się osią swą w płaszczyźnie południka magnetycznego. Stąd wyprowadził wniosek, że zjawiska magnetyzmu ziemskiego polegają na działaniu prądów, okrążających kulę ziemską, a magnetyzm magnesów stałych jest spowodowany obecnością prądów, okrążających cząsteczki (ob. str. 86). W r. 1821 odkrył krążenie prądów elektrycznych pod wpływem magnetyzmu ziemskiego. W r. 1823 ogłosił „Teorię matematyczną zjawisk elektrodynamicznych, wyprowadzoną jedynie z doświadczenia“, w której wykazał matematycznie, że wszystkie znane przypadki oddziaływania prądów i magnesów dają się wyprowadzić z jednego tylko prawa zasadniczego elektrodynamiki, rządzącego przyciąganiem wzgl. odpychaniem oddzielnych, nieskończenie małych elementów prądu; obserwowane przez nas siły wynikają z sumowania tych sił elementarnych.

Ampère był pierwszym, który rzucił myśl zbudowania telegrafu elektromagnetycznego; proponował w tym celu użycie tyłu drutów, ile jest liter w alfabecie; prąd, puszczony ze stacyi wysyłającej, poruszałby odpowiednie igły magnetyczne na stacyi odbierającej. Niepraktyczny pomysł Ampère'a zmodyfikowali Gauss i Weber, twórcy pierwszego telegrafu elektrycznego (życiorysy ob. Maxwell, Uwagi). Ampère wynalazł też t. zw. układy astatyczne igieł magnetycznych; pomysł polega na tem, żeby na jednym pręciku umieszczać równolegle, jedna nad drugą, dwie igły, namagnesowane mniej więcej jednakowo, lecz skierowane przeciwnie. Moment kierujący, wywierany na taki układ przez magnetyzm ziemski, równa

się różnicy momentów, wywieranych na każdą igłę zosobna, jest zatem bardzo mały; słaby prąd, działający na jedną z tych igieł, wychyli ją więc silniej, niż gdyby była wzięta oddzielnie. Lord Kelvin zastosował igły astatyczne do budowy nadzwyczaj czułych galvanometrów. Ostatnie lata swego życia poświęcił Ampère dziełu (niedokończonemu) o klasyfikacji nauk. Zmarł w Marsylii w roku 1836.

Rysem charakterystycznym Ampère'a było, między innymi, nadzwyczajne roztargnienie, które dawało powód do licznych przygód. Raz, idąc na wykład przez most na Sekwanie, spostrzegł kamień, który wyglądem swym zwrócił jego uwagę; podniósł go i oglądał uważnie, a przypomniawszy sobie, że może być już dość późno, wyjął z kieszeni zegarek; widząc, że czas iść dalej, pospiesznie kładzie kamień do kieszeni, a zegarek—rzuca do rzeki. Innym razem zaczął rozwiązywać jakieś zagadnienie matematyczne, pisząc kredą na ścianie napotkanego omnibusu; zanim dobrnął do końca rachunku, omnibus ruszył, unosząc z sobą rozwiązanie zadania. Przy wykładzie stale wycierał tablicę własną chustką, a ściereczki używał jako chustki do nosa i chował ją potem do kieszeni.

O metodzie badań Ampère'a patrz uwagi Maxwell'a o nim i o Faraday'u, umieszczone po wyjątkach z dzieł Faraday'a.

Wykład metodyczny zjawisk elektrodynamicznych i praw, rządzących temi zjawiskami *).

Porządek, w jakim rozmaite fakty, odnoszące się do pewnej gałęzi fizyki, ukazują się swym odkrywcom, zależy najczęściej od okoliczności przypadkowych, rzadko się więc zdarza, by zgadzał się on z porządkiem, odpowiednim dla wykładu metodycznego tych faktów. Ta uwaga stosuje się zwłaszcza do nowych własności przewodników voltaicznych, jakie znaleźli pp. Oersted, Arago, Ampère, Faraday i inni: ilość faktów, które odkryli, oraz tych faktów, związanych z nimi, które zawdzięczamy innym fizykom, jest dziś dostatecznie wielka, abyśmy je mogli przedstawić w porządku, wynikającym w sposób naturalny z ich wzajemnej zależności; to właśnie zamierzamy uczynić w niniejszym artykule.

I. Pierwszym w porządku naturalnym wydaje się nam fakt, który przepowiedział p. Ampère 24 czerwca 1822 r. w Akademii Nauk, jako wynikający z jego wzorów, a który został sprawdzony doświadczalnie dopiero następnej jesieni; jest to odpychanie się wzajemne wszystkich części prądu elektrycznego¹⁾. To właśnie zdaje się być źródłem wszelkich innych własności prądów elektrycznych...

*) „Exposé méthodique des phénomènes électro-dynamiques et les lois de ces phénomènes”. Paris 1823.

II. Jeśli... uważać dwie przyległe części prądu elektrycznego, odpychające się nawzajem, za dwa boki kąta rozwartego, to rzecz widoczna, że, jeśli boki tego kąta będą się mogły obracać około wierzchołka, to prąd elektryczny będzie przebiegał po jednym z boków, zbliżając się do wierzchołka, po drugim—oddalając się od niego. Przy tem położeniu dostrzegamy, że to samo odpychanie zachodzi pomiędzy obu bokami kąta tak, że, jeśli jeden z nich jest ruchomy, to obróci się dokoła wierzchołka, oddalając się od drugiego. Ten fakt dowodzi, że wspomniane odpychanie działa na odległość, a nie wyłącznie pomiędzy przyległymi częściami prądu. Działanie pomiędzy dwoma nieskończone małymi częściami dwóch prądów skierowane jest zawsze wzdłuż łączącej je linii.

III. To samo zjawisko zachodzi, jeśli dwie części prądu elektrycznego, działające jedna na drugą, znajdują się w różnych płaszczyznach, o ile tylko jeden z tych prądów płynie wciąż zbliżając się, a drugi—oddalając się od wspólnej prostopadłej, mierzącej najmniejszą odległość pomiędzy ich kierunkami.

IV. To samo zachodzi jeszcze i wtedy, gdy kąt, wytworzony przez te kierunki, staje się równym zeru, t. j. gdy prądy przebiegają wzdłuż dwóch linii równoległych w odwrotnych kierunkach:

V. Jeśli zmienić kierunek jednego z prądów w poprzednich doświadczeniach, to odpychanie przejdzie w równe mu przyciąganie; zatem dwa prądy przyciągają się, bądź to płynąc wzdłuż dwóch boków kąta płaskiego lub wzdłuż dwóch prostych wchrowatych, razem zbliżając się lub razem oddalając od wierzchołka albo od wspólnej prostopadłej,—bądź to płynąc wzdłuż dwóch linii równoległych, poruszając się przytem w jednym i tym samym kierunku.

VI. Zbyteczną jest prawie uwaga, że, gdyby zmienić jednocześnie kierunki obu prądów, ich działania pozostałyby takie same, jak przedtem...

.

VIII. Z tych faktów można łatwo wywnioskować, że, jeśli nieograniczony przewodnik prostoliniowy działa na drobną cząstkę przewodnika ruchomego, którego kierunek jest prostopadły do jego kierunku, to wypadkowa wszystkich działań, wywieranych przez drobne cząstki przewodnika nieograniczonego, jest do tego przewodnika równoległa; jeśli prąd w przewodniku ruchomym zbliża się do przewodnika nieograniczonego, wypadkowa jest skierowana ku końcowi jego, połączonemu z biegunem dodatnim ogniwa; jeśli prąd się oddala—to ku temu końcowi, który łączy się z biegunem ujemnym²⁾). To tłumaczy różnorodność zjawisk, jakie to działanie wytwarza, zależnie od tego, czy przewodnik ruchomy obraca się około osi równoległej, czy też prostopadłej do swego kierunku; w drugim wypadku powstaje obrót przewodnika ruchomego wciąż w tym samym kierunku, — o ile nieograniczony przewodnik prostoliniowy znajduje się nazewnątrz powierzchni cylindra, którego podstawę stanowi koło zakreślone przez przewodnik ruchomy³⁾....

X. Ostatnią konsekwencją, wypływającą z tych rozważań, jest działanie przewodnika nieograniczonego, dążące do skierowania przewodnika ruchomego tak, aby stał się doń równoległym i aby oba prądy płynęły w jednym kierunku—o ile prostopadła wspólna dla kierunków obu przewodników przechodzi przez środek przewodnika ruchomego, i o ile ten może się obracać swobodnie około tej prostopadłej⁴⁾).

.....

XV. Prądy, wytwarzane wewnątrz ogniwa przez siły elektromotoryczne jego części składowych, oraz prądy, przechodzące przez wodę zakwaszoną, tworzącą część obwodu voltaicznego, działają ściśle w ten sam sposób, jak i prądy elektryczne w drutach przewodzących.

XVI. Kula ziemską działa zupełnie tak, jak gdyby płynęły w niej prądy elektryczne od wschodu na zachód w kierunkach, z których średni tworzyłby to, co nazywamy równikiem magnetycznym; wystarczy więc zbadać, jak działają prądy, rozłożone w sposób wzmiankowany, aby mózdz prze-

widywać zjawiska, jakie kula ziemską wywołuje, przyciągając, odpychając lub wprawiając w bezustanny obrót przewodniki ruchome...

XVII. Że ruch danej części obwodu voltaicznego jest spowodowany działaniem ziemi, a nie działaniem innych części tego samego obwodu, można poznać po tem, iż, jeśli przemienić połączenie końców obwodu z biegunami ogniwa, ruch będzie się odbywał w kierunku odwrotnym; tymczasem widzieliśmy (ust. VI), że taka zmiana nie spowoduje żadnej zmiany w działaniu wzajemnem różnych części tego samego obwodu.

XVIII. Można naśladować wszystkie działania, wywierane przez kulę ziemską na przewodniki, za pomocą paska z blachy miedzianej, zwiniętego w linię śrubową, którego koniec powraca wzdłuż osi spirali, aby prąd tej części mógł zobojętniać działanie, wywierane przez rzuty zwojów spirali równoległe do osi⁵⁾.

XIX. Koniec tej spirali, którego położenie względem prądów w zwojach jest takie, jak położenie bieguna południowego ziemi względem prądów, opływających kulę ziemską od wschodu do zachodu, działa tak, jak ten biegun; drugi koniec tej samej spirali działa tak samo, jak biegun północny ziemi. Stąd stosujemy do końców spirali nazwy bieguna południowego i północnego⁶⁾.

XX. Z praw działania wzajemnego przewodników voltaicznych wynikają następujące zjawiska: dwie spirale będą się odpychały biegunami jednoimiennymi, a przyciągały różnoimiennymi, niezależnie od położenia osi obu spirali względem siebie; przewodnik prostoliniowy nieograniczony, umieszczony naprzeciw środka spirali, powinien ją tak skierować, aby jej oś wytworzyła kąt prosty z kierunkiem przewodnika i aby jej biegun południowy znalazł się na lewo od prądu, przepływającego przez przewodnik⁷⁾; w tem położeniu przewodnik przyciąga spiralę, odpycha ją zaś wtedy, gdy jej biegun południowy znajduje się na prawo od prądu...

XXI. Jeśli wewnątrz spirali, przez którą przepływa prąd elektryczny, umieścić pręt stalowy, to można spostrzedz, że

natężenie zjawiska, wywołanego przez spiralę, wzrasta w tej części, w której znajduje się pręt, zjawisko pozostaje jednak niezmienionem pod każdym innym względem; po wyjęciu ze spirali pręt zachowuje wszystkie jej własności i może ich następnie, podobnie jak spirala, udzielać innym prętom; jeśli do końców pręta zastosujemy nazwy bieguna południowego i północnego, odpowiednio do biegunów spirali, to dwa tak sporządzone pręty będą się odpychały biegunami jednoimiennymi, a przyciągały różnoimiennymi...

I w innych objawach istnieje najzupełniejsza analogia pomiędzy solenoidami i prętami magnetycznymi.

Większość tych faktów była znana oddawna, ale nie pojejrzewano wówczas istnienia zjawisk, związanych z działaniem przewodnika voltaicznego: działanie to zostało, jak wiadomo, odkryte przez Oersted'a.

XXII. Prąd elektryczny prostoliniowy, umieszczony obok pręta stalowego, prostopadle do jego osi, udziela mu tych samych własności, ale działanie jego jest znacznie słabsze od działania spirali—przy innych warunkach niezmiennych.

Prądy ziemskie też magnesują żelazo, wskutek tego niektóre rudy żelazne mają własności magnetyczne i nazywają się magnesami naturalnymi; były one — przed odkryciem magnesujących własności prądu elektrycznego — jedynymi źródłami magnetyzmu.

XXIV. Pręt stalowy, obdarzony dopiero co wymienionymi własnościami, jest tem, co nazywamy *magnesem*; wszystkie zjawiska, wywołane przez kawałki stali, posiadające te własności, sprowadzają się natychmiast do wzajemnego oddziaływania prądów voltaicznych, jeśli przypuścimy, że naokoło cząsteczek magnesu obiegają prądy elektryczne w płaszczyznach, które w pobliżu środka tych magnesów są prostopadle do osi, podobnie jak prądy w spirali, które jednak pochylają się zapewne w cząsteczkach, położonych poza tą osią, i to tem silniej, im bardziej są oddalone od jej środka⁸⁾.

XXV. Magnesowanie prętów działaniem prądu elektrycznego, czy to zapomocą spirali, czy zapomocą poprzecz-

nego przewodnika prostoliniowego, jest skutkiem nieodzownym tego, że prąd ten skierowuje owe prądy elektryczne, o których istnieniu naokoło cząsteczek metali magnetycznych wszystko świadczyć się zdaje; zwraca on je tak, jak, zgodnie z doświadczeniem i z ogólnymi prawami działania elektrodynamicznego, zwraca część ruchomą przewodnika voltaicznego, tworzącego obwód niemal zamknięty; działania wzajemne prądów cząsteczkowych magnesu dążą do pochylenia płaszczyzn tych prądów względem osi magnesu, w sposób dopiero co wskazany.

XXVI To pochylenie płaszczyzn, w których leżą prądy cząsteczek magnesu, zdaje się być przyczyną różnicy, jaką Faraday zauważył pomiędzy sposobem działania magnesów i spirali, a która polega na tem, że bieguny magnesów właściwych nie są umieszczone ściśle na jego końcach, gdy tymczasem punkty w spirali, obdarzone temi samymi własnościami, znajdują się dokładnie na końcach spirali...

XXVIII. Sprowadziwszy działania magnesów do praw ogólnych działania przewodników voltaicznych, można już stąd wyprowadzić różne zjawiska, polegające na oddziaływaniu wzajemnem przewodników voltaicznych i magnesów...

U W A G I.

¹⁾ (Str. 85). Dowodzi tego doświadczenie, wykonane przez Ampère'a i de la Rive'a. Na rtęci, wypełniającej podzielone na dwie części naczynie, fig. 12, pływa wygięty drut żelazny *BEC* tak, że

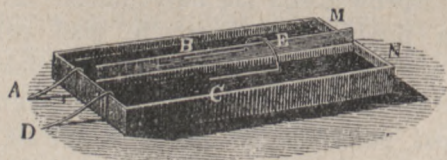


Fig. 12.

prąd elektryczny płynie przez rtęć od *A* do *B*, tu dostaje się do drutu i wraca rtęcią od *C* do *D*. Wzajemne odpychanie pomiędzy *AB*

i BE , oraz pomiędzy EC i CD powoduje posuwanie się drutu ku MN .

²⁾ (Str. 87). Na fig. 13 AB przedstawia część przewodnika nieograniczonego, C element prądu o kierunku prostopadłym do AB ; strzałki wskazują kierunki prądów. Prąd w części AO zbliża się do punktu O razem z prądem w C ; zatem, zgodnie z artykułem V, C będzie przyciągane przez prąd w AO ; siła f_1 , wywierana np. przez element D tej części przewodnika, będzie skierowana wzdłuż CD . Element E , położony symetrycznie do D względem O , będzie odpychał element C (ust. II) w kierunku EC z siłą $f_2 = f_1$. Wypadkowa tych sił

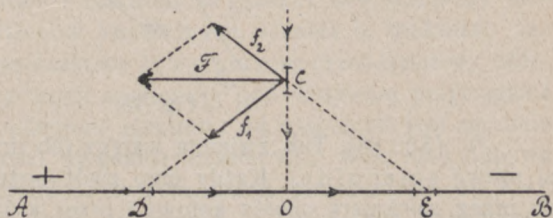


Fig. 13.

F będzie skierowana równoległe do AB . W ten sposób możemy znaleźć wypadkowe dla wszystkich par elementów przewodnika nieograniczonego, biorąc te pary symetrycznie względem O ; działanie całego przewodnika będzie równe sumie tych wypadkowych i, jak one, będzie skierowane równoległe do AB w stronę bieguna dodatniego.

³⁾ (Str. 87). Fig. 14 wyobraża ten wypadek; każdy element przewodnika ruchomego CD jest pociągany w kierunku A (ust. VIII i uw. 2); jeśli oś obrotu umieścić w C , to przewodnik wykona obrót w kierunku ruchu wskazówek zegara, aż znajdzie się w położeniu równoległym do przewodnika AB ; ale wówczas prądy w obu przewodnikach będą skierowane odwrotnie, więc przewodnik ruchomy będzie odpychany (ust. V); będzie zatem odbywał

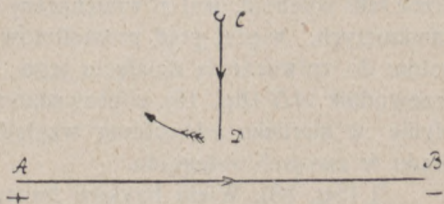


Fig. 14.

w dalszym ciągu obrót w tym samym kierunku; gdy znajdzie się znów w położeniu prostopadłym do AB , prąd będzie w nim płynął odwrotnie, niż w położeniu pierwotnym, będzie więc teraz popychany ku B i t. d. Obrót będzie się odbywał wciąż w tym samym kierunku.

⁴⁾ (Str. 87). Jest to położenie, uwydatnione na fig. 15; strzałki wskazują kierunek obrotu przewodnika CD około osi O.

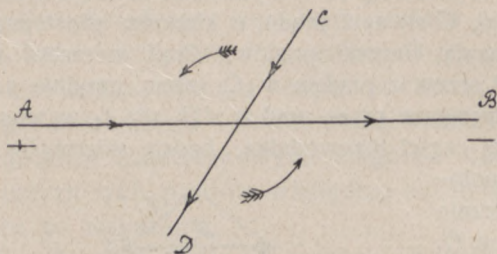


Fig. 15.

⁵⁾ (Str. 88). Tak zwinęta wstęga lub drut przewodzący nosi nazwę solenoidu. Każdy jego zwój możemy zastąpić w myśli przez zamknięty obwód kołowy i przez krótki przewodnik prostoliniowy, łączący jeden zwój z drugim; suma tych krótkich odcinków wytworzy przewodnik, skierowany równoległe do osi solenoidu i tej samej długości, co solenoid. Prąd elektryczny, płynący

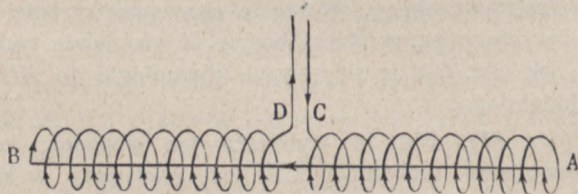


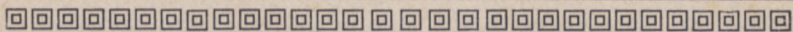
Fig. 16.

przez taki solenoid, jest równoznaczny z układem prądów kołowych zamkniętych, więcej prąd prostoliniowy, płynący wzdłuż osi solenoidu; do zniweczenia działania tego prądu prostoliniowego służy przewodnik *AB* (fig. 16), poprowadzony wzdłuż osi; prąd w nim płynie w kierunku odwrotnym względem kierunku posuwania się prądu w zwojach solenoidu.

⁶⁾ (Str. 88). Wielu fizyków francuskich nazywa biegunem północnym magnesu ten, który się zwraca ku biegunowi południowemu ziemi; w ten sposób północny biegun magnetyczny ziemi znajduje się w pobliżu jej północnego bieguna geograficznego; Ampère wprowadza nazwy biegunów solenoidów i magnesów zgodnie z tym zwyczajem; chcąc posługiwać się słownictwem, przyjętem u nas, należałoby zamienić nazwy Ampère'a na odwrotne.

⁷⁾ (Str. 88). To odpowiada słynnemu prawidłu Ampère'a, o ile zamienimy nazwy biegunów (ob. uw. 6).

⁸⁾ (Str. 89). Hypoteza prądów cząsteczkowych, choć pociąga wyobraźnię, ujmując w jedną całość zjawiska magnetyzmu i elektryczności, nie zadawała nas w tej formie, jaką jej nadał Ampère. Nasuwa się wątpliwość, po jakim torze płynie taki prąd? dlaczego okrąży cząsteczkę i to w jednej płaszczyźnie? skąd bierze energię, potrzebną do wytworzenia ciepła, jakie wydzieli każdy prąd elektryczny w przewodniku? Dopiero elektronowa teoria elektryczności (ob. rozdział: Jony i elektrony w gazach), stwierdziwszy możliwość istnienia elektronów swobodnych, usunęła te trudności; zakłada ona, że prądy cząsteczkowe są wytworzone przez elektrony, obiegające po torze eliptycznym cząsteczkę pod wpływem przyciągania przez nią; ponieważ odległość elektronu od cząsteczki jest znacznie mniejsza, niż odległości wzajemne cząsteczek, więc ruch odbywa się bez żadnych przeszkód i trwa wiecznie, podobnie jak np. ruch planety około słońca. Prąd elektryczny w drucie jest wytworzony przez elektrony, nie związane stale z cząsteczkami metalu; elektrony, poruszając się pomiędzy cząsteczkami pod wpływem siły elektromotorycznej, uderzają o cząsteczki metalu i oddają im część swej energii kinetycznej; ta energia, zamieniona na ruch cząsteczek, wpływa na podniesienie temperatury przewodnika—prąd elektryczny wytwarza ciepło. Trudności przeprowadzenia szczegółowego teorii elektronowej przewodnictwa w metalach nie zostały jeszcze usunięte; poruszamy się tu w dziedzinie mało sprawdzonych hipotez (ob. Witkowski, Zasady fizyki, Tom III, str. 285 i dalsze oraz Campbell, Spółczesna teoria elektryczności, rozdz. IV i VI).



MICHAŁ FARADAY *).

(1791 — 1867).

Przyszły wielki uczoney urodził się 22-go września 1791 roku jako syn kowala z pod Londynu; skromne warunki bytu nie pozwoliły rodzicom na systematyczne kształcenie dzieci, których było dziesięcioro, i mały Michał już w 13 roku życia musiał się jąc pracy zarobkowej, jako terminator u introligatora. Ten zawód to miał w sobie dobrego, że wprowadził młody, żądny wiedzy i doskonalenia się umysł chłopca w zetknięcie z bogactwem wiedzy, zawartem w powierzanych mu do oprawy książkach. To też wkrótce oprawiane tomy przestały być dla niego li tylko przedmiotem pracy zawodowej: zajęła go ich treść, na poznanie której poświęcał godziny, przeznaczone na sen i odpoczynek. Wyborem lektury rządził tu głównie przypadek i nie mogło być mowy o jakimkolwiek kształceniu systematycznym; gdy jednak pomiędzy innymi chłopiec zapoznał się z kilkoma artykułami z chemii i fizyki, obudziło się w nim żywe i wyraźne zainteresowanie tą właśnie dziedziną wiedzy, którą miał kiedyś tak znakomicie wzbogacić. Odtąd nie opuszczał żadnej sposobności, aby zbierać, bogacić i pogłębiać swe wiadomości; a w miarę jak je zdobywał, rosło w nim gorące pragnienie, aby samemu mózdz kiedyś pracować dla nauki. Pociągało go do niej nie tylko zamiłowanie umysłowe i przecucie własnych sił twórczych; ideałem Farada'y'a, który mu przyświecał przez całe życie, była doskona-

*) Materiał do biografii został poczerpnięty z książki S. P. Thompson'a: „Michael Faradays Leben und Wirken“,—tłómaczenie niemieckie z r. 1900.

łość moralna; jej urzeczywistnienie widział w służeniu prawdzie, w pracy dla jej zdobycia, a w pracy naukowej przede wszystkim. Że nauka uszlachetnia ludzi i wznosi ich na wyższy poziom etyczny, że uczoney musi być zarazem człowiekiem czystym i moralnie pięknym — o tem nawet nie wątpił. Zarówno inteligencja jak i zmysł moralny popychały go ku temu samemu — ku nauce. Ona obiecywała zaspokoić wszystkie jego pragnienia; to też stała się wkrótce jedynym celem jego życia, do którego zdązał z natcheniem wszystkich sił.

Otrzymawszy zaledwie elementarne wykształcenie w szkole, wszystko zawdzięczał własnej pracy i wytrwałości; samouctwo zaprowadziło go z nader skromnego stanowiska ucznia introligatorskiego na szczyty sławy naukowej. Czytał książki, jakie mógł zdobyć w warsztacie, robił z nich obszerne i systematyczne wyciągi, skromne fundusze obracał na kupno przyrządów i materiałów, potrzebnych do powtórzenia opisywanych doświadczeń. W r. 1810 po raz pierwszy zapoznał się z wykładem naukowym, chodząc na odczyty publiczne z dziedziny nauk przyrodniczych. Jeden z klientów warsztatu, zadziwiony niezwykłą inteligencją i pracowitością chłopca, zaczął dostarczać mu książek i nasunął sposobność wysłuchania kilku odczytów znakomitego chemika ówczesnego Sir Humphry Davy'ego *). To zdarzenie stało się punktem zwrotnym w życiu Faraday'a; postanowił skorzystać z nadarzonej sposobności i spróbował urzeczywistnić swe marzenia o służeniu nauce; opracowawszy starannie i opatrzywszy w rysunki wykłady Davy'ego, posłał je uczonemu chemikowi wraz z listem, w którym, opisawszy swoje położenie, prosi go o umożliwienie mu pracy dla nauki, choćby na najskromniejszym stanowisku. Davy, uderzony inteligencją petenta, zawezwał go do siebie, a w parę miesięcy później (w r. 1813) ofiarował mu miejsce laboranta przy Instytucie

*) Davy (ur. 1778, zm. 1820 r.) był, podobnie jak Faraday, samoukiem; służąc w aptece, zapoznał się z chemią i wkrótce zdobył sobie ogromny zasób wiedzy chemicznej i fizycznej. Stworzył elektryczną teorię zjawisk chemicznych, która była zaczątkiem dzisiejszych teorii elektrochemicznych. Kierowany tą teorią pokusił się o rozłożenie zapomocą prądu elektrycznego ługu potasowego i sodowego, uważanych wówczas dla pierwiastki i w r. 1809 otrzymał, pierwszy z ludzi, potas i sól metaliczny. Stwierdził pierwiastkową naturę chloru i odkrył jod. Prace nad naturą płomienia doprowadziły go do budowy znanej lampki bezpieczeństwa.

Królewskim w Londynie *) z obowiązkiem pomagania Davy'emu przy pracach naukowych, a wszystkim wykładającym w Instytucie przy wykładach. Faraday znalazł tu bogate pole do zaznajomienia się nie tylko z metodami badania doświadczalnego i ze sztuką demonstrowania, w której okazał niezwykłą zręczność, ale i do zapoznania się ze sztuką wykładania, której tajemnice z właściwą sobie bystrością szybko przeniknął. Dalszej sposobności do uczenia się, obserwowania i zapełniania w ten sposób braków wykształcenia dostarczyła mu podróż do Francji i Włoch, którą odbył w charakterze naukowego asystenta Davy'ego. Widok nowych miast i krajów, nieznanne obyczaje, obcowanie z ludźmi tej miary co Volta, Ampère, Arago, Dumas, Gay-Lussac i w. i. rozszerzyła znacznie jego horyzonty umysłowe. Tylko stosunki z Davy'm przyczyniały mu niemało zgrzyoty. Wbrew umowie, spadły nań podczas podróży obowiązki osobistych posług przy profesorze i jego żonie; nadto nietakt pani Davy, która starała się na każdym kroku upokarzać młodego sekretarza, uczynił dlań stosunki tak nieznośnymi, że musiał użyć całego hartu swej woli, aby wytrwać do końca podróży.

Po powrocie Faraday oddał się całkowicie zajęciom naukowym; były to na razie drobne badania chemiczne i fizyczne, związane z tematami, opracowywanymi przez Davy'ego, jak badania wpływu domieszek na własności stali, przepływu gazów przez rurki włoskowate i t. d. Ale w miarę zdobywania wprawy i zagłębienia się w naukę rosła wiara we własne siły, i już rok 1821 przynosi poważne odkrycie: Faraday'owi udało się urzeczywistnić poszukiwane od dość dawna krążenie ustawiczne ruchomej części prądu dokoła magnesu, jako osi. Pobudką do tych poszukiwań były nieudane próby, przedsiębrane w tym kierunku przez Wollaston'a w pracowni Davy'ego, co nawet ściągnęło na Faraday'a zarzut plagiatu; uwolnił się od niego dzięki temu, że, dowiedziawszy się o zarzucie, natychmiast udał się do Wollstone'a i w sposób szczery i otwar-

*) Instytut Królewski (Royal Institution), założony w r. 1799 jako rodzaj szkoły technicznej, przekształcił się z czasem na towarzystwo naukowe, które utrzymuje dla swych członków biblioteki i pracownię, ogłasza ich prace, organizuje odczyty i wykłady; mianuje też profesorów, ale obowiązkowe ich zajęcia ogranicza do minimum, pozwalając obracać cały niemal czas na poszukiwania naukowe; w Instytucie prowadzili badania Davy, Faraday, Tyndall, Dewar i w. i.

ty wyjaśnił sprawę. W r. 1823, idąc za wskazówką Davy'ego, Faraday skrapla chlor i stwarza metodę skraplania, która polega na jednoczesnem oziębianiu gazu i poddawaniu go wysokim ciśnieniom; ta metoda stała się następnie wzorem dla wszystkich dalszych prób w tym kierunku (Ob. tom I, str. 314).

Ucząc się sam, Faraday nie omieszkął uczyć i innych; zapisał się do koła samokształcenia, złożonego z młodych ludzi ze sfer niewykształconych, zajął tam wkrótce wybitne stanowisko, pouczając swych towarzyszy zarówno o zdobyczach naukowych fizyki i chemii, jak i o sposobach zdobywania wiedzy, których znajomość zawdzięczał długim latom samouctwa. Zarówno w kółku tem, jak podczas podróży, jak i wszędzie, gdzie się stykał z ludźmi, zdobywał ich przyjaźń swem usposobieniem wesołym i pogodnym, serdeczną otwartością, prostotą, skromnością i szlachetnością charakteru. Czar jego pogodnego i ujmującego obejścia pociągał i zjednywał serca wszystkich.

Wraz z postępującymi pracami naukowemi rosnęło i uznanie dla ich twórcy, i w r. 1823 przedstawiono go jako kandydata na członka Królewskiego Towarzystwa Nauk (Royal Society of Science) najwyższej instytucji naukowej w Anglii. Ówczesny prezes T-wa Davy, zazdrosny o rosnącą sławę swego podwładnego, sprzeciwił się gorąco tej kandydaturze. Faraday zachował w całej tej sprawie takt i godność, jakie cechowały wszystkie jego postęпки; oto, jak sam opowiada rozmowę z Davy'm:

„Sir H. Davy powiedział mi, że muszę cofnąć swą kandydaturę. Odrzekłem, że ponieważ sam jej nie stawiałem, więc nie mogę jej też wycofać; ci, co mnie proponowali, są za nią odpowiedzialni. Mam zatem wpłynąć na nich, aby ją wycofali, powiedział. Wiem, odrzekłem, że tego nie uczynią. Na to on: „Ja, jako prezes, mogę to uczynić“. Odpowiedziałem, że jestem głęboko przekonany, iż Sir Humphry Davy uczyni tylko to, co będzie się zgadzało z dobrem Towarzystwa Nauk“.

Dzięki zabiegom przyjaciół, trudności stawiane przez Davy'ego zostały usunięte, i 33-letni Faraday został przyjęty na członka. Pomimo przykrości, doznanych od Davy'ego tak w tym wypadku, jak i podczas podróży, nie zachował do swego mistrza ani cienia żalu; pamiętał, co mu zawdzięczał, czcił w nim wielkiego uczonego i nawet po śmierci jego odzywał się o nim z najwyższą czcią i uwielbieniem, z oburzeniem odpierając każdą aluzję do nieszlachetnego postęпку Davy'ego.

Niewielki dochód, jaki przynosiła pensja Instytutu, zaledwie wystarczająca na skromne utrzymanie Faraday'a i żony, którą był pojął w r. 1821, pomnażał znacznie, wykonywując analizy chemiczne i występując w roli rzeczoznawcy. Wziętość jego na tem polu wciąż rosła i obiecywała bogaty dochód, ale nadzieje dobrobytu go nie skusiły; przeciwnie, widząc że zajęcia zarobkowe zabierają mu drogi czas i odciągają od właściwego powołania,—od badań naukowych, porzucił zupełnie tę pracę, decydując się raczej na niedostatek, niż na sprzeniewierzenie się idei swego życia—służbie dla nauki. Jego położenie finansowe poprawiło się dopiero w r. 1835 wskutek przyznania mu stałej pensji przez rząd wielkobrytański, o co postarali się przyjaciele Faraday'a. Lord Melbourne, ówczesny minister skarbu, udzieliwszy mu posłuchania w tej sprawie, a nie znając istotnej wartości uczonego, który stał przed nim, wyraził się szorstko o takim sposobie popierania nauki; wówczas Faraday, skłoniwszy się, wyszedł, zdecydowany nie przyjąć pensji. „Minister musiałby mnie przeprosić listownie. Czyż mogę nawet myśleć o tem, aby odeń tego wymagać?” — były jego słowa, dosadnie malujące charakterystyczne połączenie skromności z wysokim poczuciem godności osobistej. Sprawa została załagodzona, i wielki fizyk mógł już odtąd oddawać się swym badaniom bez troski o chleb powszedni.

Badania te przybierały coraz szersze rozmiary; prowadzenie ich ułatwiała i ta okoliczność, że w r. 1825 Faraday został mianowany dyrektorem pracowni Instytutu Królewskiego. Pracował w tym czasie nad mnóstwem szczegółowych zagadnień chemicznych, a bogate swe doświadczenie laboratoryjne zawarł w praktycznym podręczniku p. t. „Chemical Manipulations“. Uwagę jego zaczęły coraz bardziej zajmować zjawiska elektryczne. Już w r. 1822 pomieścił następujące zdanie w swym dzienniku laboratoryjnym, w którym notował wyniki doświadczeń, oraz nasuwające się zagadnienia i pomysły przyszłych prac: „Zamienić magnetyzm na elektryczność“. Dzięki odkryciu Oersted'a i zbudowaniu pierwszego elektromagnesu przez Arago w r. 1820, zdołano „zamienić elektryczność na magnetyzm“, więc i zamiana odwrotna powinna być możliwa; odkrycie elektromagnetyzmu wskazywało na ścisły związek pomiędzy prądami elektrycznymi i magnesami i kazało się spodziewać, że możliwem będzie wzbudzenie prądów przez magnesy; to też Fresnel, Ampère, Arago i in. poszukiwali takiego zjawiska, lecz

bez skutku. Faraday kilkakrotnie¹ zabierał się do tego zagadnienia, a tak głęboko był przekonany o słuszności swych przypuszczeń, że nie zrażał się niepowodzeniem, i wreszcie w r. 1831 mógł ogłosić o odkryciu prądów indukcyjnych. Od chwili pierwszego powodzenia zaledwie 10 dni potrzebował na ukończenie tej seryi swych badań. Prądy indukcyjne wyjaśniły mu zagadkowe zjawiska t.zw. magnetyzmu rotacyjnego, odkrytego przez Arago *); nasunęły mu także myśl zbudowania maszyny, wytwarzającej prądy elektryczne zapomocą indukcji; zbudował istotnie kilka takich przyrządów, które zasługują na miano pierwszych maszyn magnetoelektrycznych. Wyniki badań ogłosił jako pierwszą seryę „Badań doświadczalnych nad elektrycznością“, za którą z kolei pojawiały się dalsze. Wyjątki z tej seryi pomieszczamy poniżej.

Drugiem zagadnieniem, które zajmowało wówczas umysł Faradaya, była podawana często w wątpliwość jedność elektryczności, pochodzących z rozmaitych źródeł. Faraday poddał tę sprawę obszernemu i drobiazgowemu zbadaniu doświadczalnemu; badania jego wykazały między innymi, że elektryczność z maszyny elektrycznej jest w stanie odchyłać igłę magnesową i powodować rozkład chemiczny, że wogóle elektryczności z ogniwa, z maszyny, z połączeń termoelektrycznych, nawet z ryb elektrycznych różnią się od siebie tylko ilościowo. Znakomity badacz streścił wynik tych doświadczeń w następującem zdaniu: „Elektryczność bez względu na to, z jakiego źródła pochodzi, jest w istocie swej jedną i tą samą“.

*) Życiorys Arago ob. w odnośniku do życiorysu Fresnel'a. W nauce o elektryczności dokonał dwóch odkryć. W r. 1820 zauważył, że drut żelazny, przez który przepływa prąd elektryczny, nabiera własności magnetycznych; dalsze poszukiwania w tym kierunku doprowadziły go do zbudowania pierwszego elektromagnesu. W 1824 r. zauważył dwa następujące fakty: 1) igła magnetyczna, wprawiona w wahanie, uspakajała się o wiele szybciej, gdy znajdowała się nad powierzchnią masy metalu, niż gdy znajdowała się nad złymi przewodnikami; 2) igła magnetyczna odchyłała się od położenia równowagi, gdy pod nią wprawiano w obrót krążek metalowy. Arago nie umiał wyjaśnić tego zjawiska, któremu nadał nazwę magnetyzmu rotacyjnego. Ampère w r. 1826 otrzymał ten sam wynik, używając elektromagnesu lub solenoidu zamiast magnesu Faradaya wytłumaczył to zjawisko działaniem prądów indukcyjnych, wzbudzanych w metalu pod wpływem ruchu w polu magnesu.

Obserwacje nad przewodnictwem elektrycznym materii doprowadziły Faradaya do obszernych i długich badań nad elektroлизą. Rozkład ciał za pomocą elektryczności był znany niemal od chwili zbudowania stosu elektrycznego przez Voltę; wielu fizyków i chemików pracowało w tym kierunku; obserwacje były liczne, a znajdowały się między niemi tak świetne odkrycia, jak otrzymanie przez Davy'ego metalicznego potasu i sodu; ale obserwacje były nieuporządkowane, niezwiązane nicią jakiegokolwiek systemu; Faraday zaprowadził ład w tym chaosie, stworzył terminologię, do dziś dnia używaną, odróżnił zjawiska właściwe elektrolizy od towarzyszących im zjawisk chemicznych wtórnych, zbadał mnóstwo przypadków rozkładu, dał początek teorii wędrówki jonów, a wyniki tych dociekań zawarł w swych prawach elektrolizy. Rozważając te prawa, doszedł do następującego wniosku:

„Według niej (teorii) ciężary równoważne ciał są to poprostu te ich ilości, które zawierają jednakowe ilości elektryczności, albo z natury swej równe mają siły elektryczne... Albo, jeśli przyjmujemy teorię atomową lub jej sposób wyrażania się, to atomy ciał, równoważne sobie pod względem zwykłego działania chemicznego, są związane w stanie naturalnym z równymi ilościami elektryczności“ *). To zdanie, wypowiedziane w r. 1834, zawiera już zarodek współczesnej atomowej teorii elektryczności. W tym samym jeszcze roku odkrywa Faraday zjawisko samoindukcji. Lata 1835—37 poświęca badaniom nad influencją elektrostatyczną; kierując się własnymi poglądami, jakie sobie wytworzył o naturze zjawisk elektrycznych**), przepowiedział istnienie zupełnie nowego zjawiska—wpływu dielektryków na przebieg influencji, który się wyraża istnieniem t. zw. stałej dielektrycznej. Badając różne typy rozbrajania maszyny elektrycznej, robił między innymi doświadczenia nad wyładowaniem w gazach rozrzedzonych, przyczem odkrył istnienie przestrzeni ciemnej, dzielącej katodę od świecącego gazu; dziś nosi ona nazwę ciemni Faradaya'.

W r. 1840 powraca do zagadnień elektrochemicznych, poszukując, gdzie leży źródło prądu w ogniwie elektrycznym; rozumowaniem i licznymi doświadczeniami dowodził błędności kontaktowej teorii Volty, widząc źródło „siły“ elektrycznej w procesach chemicznych,

*) „Badania doświadcz.“, serya VII № 869.

**) Ob. w teksie № 1161—1168, na str. 123.

jakie zachodzą w ogniwie. Pomimo, że zasada zachowania energii została poraz pierwszy wypowiedziana dopiero w r. 1847, Faraday rozumie ją już doskonale, a argumenty jego na niej się właściwie opierają: „nigdy się nie zdarza, aby siła powstawała lub została stworzona bez odpowiedniego wyczerpania czegoś, co ją wywołuje“.

Już w r. 1834, w trakcie swych badań nad elektrolizą pisał: „Gdyby siła elektryczna, która utrzymuje w połączeniu gran wody, czyli ta, która zmusza tlen i wodór do wiązania się we właściwym stosunku w wodę, mogła być zamieniona na prąd elektryczny, to odpowiadałby on dokładnie temu prądowi, który byłby potrzebny do rozłożenia na składniki tegoż samego grana wody“; zaś w r. 1838 wygłosił odczyt, w którym mówił wprost o „przemienności siły i jej niezniszczalności“ *).

Olbrzymi wysiłek, potrzebny do dokonania trzech tak kapitalnych odkryć, które stanowią podwaliny całej współczesnej nauki o elektryczności, wyczerpał siły Faraday'a; przerywa więc na lat kilka swą pracę odkrywcy, poświęcając ten czas na pogłębienie i usystematyzowanie pojęć, zdobytych w okresie wyteżonej pracy twórczej. Od r. 1845 zaczyna się nowa serya badań, którą rozpoczyna odkrycie skręcenia magnetycznego płaszczyzny polaryzacji; to potwierdziło istnienie oddawna przeczuwanego i napróżno poszukiwanego związku pomiędzy światłem a elektrycznością i magnetyzmem; napróżno poszukiwał Faraday dwóch innych zjawisk: wpływu izolatora, umieszczonego w polu elektrycznym, na światło, przenień przechodzące, i wpływu magnesu na światło, odbite od jego powierzchni; obu odkryć dokonał fizyk angielski Kerr: w r. 1875 odkrył podwójne załamanie w polu elektrycznym, a w roku następnym — skręcenie płaszczyzny polaryzacji światła, odbitego od powierzchni magnesu.

W r. 1846 Faraday odkrywa zjawisko diamagnetyzmu. Zawiesiwszy pręt ze szkła, którego używał do doświadczeń magneto-optycznych, w bliskości biegunów elektromagnesu, zauważył, że przyjmuje on położenie prostopadłe do linii sił magnetycznych, za-

*) Fizyka ówczesna nie odróżniała należycie terminów: siła i praca; pojęcie energii nie było wcale znane; to też zasada zachowania energii nosiła pierwotnie miano prawa zachowania siły. Porównaj rozprawę Helmholtz'a: tom I, str. 267.

chowuje się więc odmiennie od żelaza; bliższe zbadanie wykazało, że bieguny magnesu odpychają szkło, zamiast je przyciągać, jak to czynią z żelazem i niklem; tę samą własność posiada wiele innych ciał, którym odkrywca nadał nazwę ciał diamagnetycznych.

Po powtórnej przerwie, spowodowanej wyczerpaniem sił, powrócił w r. 1848 do badań nad magnetyzmem; uderzony był zachowaniem się kryształów bizmutu, które w polu magnetycznym przyjmują określone położenie tak, że oś kryształu ustawia się równolegle do linii sił, pomimo silnie diamagnetycznych własności bizmutu. Dla wyjaśnienia tego faktu stworzył pojęcie „siły przewodzącej ośrodka magnetycznego“ *), różnej w różnych kierunkach kryształu. Zależność tej wielkości od temperatury, oraz odkryte przezeń własności magnetyczne gazów nasunęły mu myśl wytlomaczenia zmian magnetyzmu ziemskiego przez zmiany temperatury atmosfery, ale myśl ta okazała się błędną.

Zasługi Faradaya dla nauki o elektryczności byłyby nieoceniłone nawet wtedy, gdyby się był ograniczył do samych tylko badań doświadczalnych. Ale oprócz nich zawdzięczamy mu nowe, oryginalne poglądy na istotę zjawisk elektromagnetycznych, poglądy, które na razie nieuważane i zlekceważone, stały się punktem wyjścia przewrotu w teorii elektryczności, jaki się zaczął w ostatnim ćwierćwieczu ubiegłego stulecia i wciąż jeszcze nie może być uważany za ukończony. Pomysł Faradaya polegał na zastąpieniu działania na odległość, jakie dawniejsze teorie przyjmowały pomiędzy nabojami elektrycznymi, przez działanie bezpośrednie, rozchodzące się wzdłuż linii sił poprzez ośrodek izolujący. Te linie sił, które początkowo uważał za pojęcie czysto geometryczne, ułatwiające tylko orientację w układzie sił magnetycznych i elektrycznych, stały się dlań z czasem istnościami realnymi o określonych własnościach fizycznych **). Faraday posuwał się tak daleko w swej koncepcji, że w odczycie, wygłoszonym w r. 1846, wypowiedział hipotezę, iż zjawisko promieniowania świetlnego polega na drganiach, rozchodzących się wzdłuż linii sił, łączących

*) W. Thomson (lord Kelvin) ochrzcił tę wielkość nazwą „permeability“ (przenikliwość albo zdolność magnetyczna); gra ona pierwszorzędną rolę we współczesnej teorii magnetyzmu; posługując się nią, Thomson zdołał stworzyć ogólną teorię matematyczną zjawisk magnetycznych; ob. Witkowski t. III, str. 431.

***) Ob. str. 132 i dalsze.

atomy materii; ta myśl jest tak bliska naszych dzisiejszych poglądów na istotę światła, że przenikliwość umysłu Faradaya wydaje nam się wprost zdumiewającą *). Początkowo przypuszczał on, że pojęcie linii sił uczyni zbędnym pojęcie eteru, który wówczas uważano jedynie za ośrodek przenoszący światło; dopiero później zmodyfikował swój pogląd, przypuszczając, że właśnie eter może służyć także do przenoszenia sił elektrycznych i magnetycznych **). Jest to pogląd, który, przyjęty i rozwinięty przez Maxwell'a, zapanował w nauce współczesnej.

Teoretyczne poglądy Faradaya na istotę zjawisk elektrycznych okazały się niesłychanie płodnymi. Kierowany nimi, odkrył Faraday istnienie stałej dielektrycznej; Maxwell, opracowawszy je matematycznie, przepowiedział możliwość wytwarzania fal elektromagnetycznych, urzeczywistnionych następnie przez Hertz'a, i dał podstawy teorii elektromagnetycznej światła. Dwie inne jeszcze konsekwencje swych poglądów przepowiedział Faraday. Prąd elektryczny polega według niego na przechodzeniu wzdłuż przewodnika naboju elektrycznych, wraz z należącymi do nich liniami sił; ten sam skutek miałoby poruszanie ciała, obdarzonego nabojem elektrycznym. Ruch tego ciała byłby równoważny prądowi elektrycznemu, płynącemu w tym samym kierunku, powinienby więc, podobnie jak prąd, oddziaływać na magnesy. Ruch linii sił można wywołać innym jeszcze sposobem: wprawiając w ruch dielektryk, w którym wzbudzono pole elektryczne, który więc przeniknięty jest liniami sił.

Pierwszy z tych wniosków sprawdził Rowland przez odkrycie działania magnetycznego t. zw. prądów konwekcyjnych; słuszność drugiego wykazał Roentgen, stwierdziwszy, że i t. zw. prądy polaryzacyjne wywołują pole magnetyczne ***).

Serye XXVIII i XXIX — „Badań nad elektrycznością“, wydane w r. 1851 i 1852, poświęcił Faraday rozważaniu linii sił, stwierdzając, że pojęcie to daje się traktować ilościowo. Natężenie prądu elektrycznego, wzbudzanego w drucie przez indukcję, jest proporcjonalne do ilości linii sił, przecinanych przez drut w ciągu jed-

*) Ob. Campbell. Współczesna teoria elektryczności, tóm. L. Silbersteina, Warszawa 1913, Rozdz. I i II.

***) Ob. cytata, przytoczoną przez Maxwell'a w ustępie, poświęconym elektromagnetycznej teorii światła.

****) Wyjątki z prac Maxwell'a, Hertz'a, Rowland'a i Röntgen'a podajemy poniżej.

nostki czasu; więc całkowita ilość elektryczności, jaka przepływa przez drut w ciągu jego ruchu w polu magnetycznym, jest proporcjonalna do liczby linii sił, przeciętych przezeń w tym czasie. Można więc tą drogą, zapomocą prądów elektrycznych, badać natężenie pola magnetycznego czyli skupienie linii sił tego pola. To twierdzenie, odkryte przez Faradaya na drodze badań doświadczalnych, jest często stosowane w pomiarach magnetycznych, a oparte na niem pojęcie ilości linii sił stanowi podstawę dzisiejszej teorii magnetyzmu; szczególnie ważne zastosowanie znalazło ono w technice przy obliczaniu dynamomaszyn i transformatorów.

Na tych ostatnich dwóch seryach kończy się działalność naukowa Faradaya; pracuje on jeszcze nad drobiazgami, wykłada, pisze sprawozdania z różnych odkryć, ale nic już nie tworzy; ostatnim jego twórczym pomysłem było badanie w r. 1862, czy umieszczenie źródła światła w polu magnetycznym nie spowoduje zmian w wysyłanym przez nie świetle. Rezultat był ujemny,—dopiero w r. 1897 Zeeman, rozporządzając o wiele potężniejszymi środkami doświadczalnymi, odkrył zjawisko, przeczuwane przez genialny umysł Faradaya *). To intuicyjne przewidywanie zjawisk i związków świadczy, jak głęboko wniknął on w istotę badanych zjawisk, jak blisko żył z przyrodą, która, mogłoby się zdawać, nie miała dla niego tajemnic.

Dwadzieścia dziewięć seryi „Badań doświadczalnych nad elektrycznością“, których najważniejsze tylko rezultaty zdołaliśmy tu zaznaczyć, stanowią prawdziwy skarb wiedzy o zjawiskach elektrycznych i magnetycznych. Niema prawie kwestyi, którejby nie poruszały; nawet człowiek, dobrze obeznany ze stanem nauki współczesnej, znajdzie w czytaniu pism Faradaya nie tylko prawdziwą przyjemność, ale i rzetelną korzyść: znajdzie w nich źródło wielkiej ilości pojęć teorii elektryczności, znajdzie mnóstwo mało znanych i nawpół zapomnianych szczegółów, znajdzie wreszcie nieporównane bogactwo myśli twórczych i genialnych.

Sylweta Faradaya nie byłaby zupełną, gdybyśmy pominęli jeden z bardzo ważnych rysów jego charakteru: głęboką religijność. Rodzice jego należeli do nielicznej sekty sandemianian, dążącej do powrotu do prostoty pierwszych chrześcijan; przy obrzędach obywatelskiej sekty bez duchownych—na czele gminy stoją starsi, wybie-

*) Ob. rozprawę Zeemana w tym tomie.

rani z pośród członków gminy. Faraday, który od dzieciństwa uczęszczał na ich proste nabożeństwa, przystąpił w r. 1821 do sekty, po złożeniu obowiązkowego publicznego wyznania grzechów i wiary. Tę samą szczerą i rzetelną, która cechuje jego prace naukowe, okazywał i w życiu religijnem: i tu, i tam szukał prawdy; z tym samym skupieniem, z jakim śledził wywody świętych uczonych, słuchał kazań swych skromnych współwyznawców. W r. 1840 został obrany na starszego gminy, i odtąd co niedziela miewał kazania w kaplicy. Mniemając, że dzieła Stwórcy świadczą o jego wielkości, badania przyrodnicze uważał za swój obowiązek religijny. Nie wielu można znaleźć ludzi, których zawód tak doskonale zaspakajałby wszystkie ich potrzeby duchowe, jak to miało miejsce u Faradaya: praca naukowa odpowiadała znakomicie jego siłom intelektualnym, poszukiwanie prawdy zgadzało się z jego instynktem moralnym, ceniącym prawdę nadewszystko, a nadto przekonania religijne nie tylko nie stawały na drodze jego badaniom, lecz przeciwnie, pobudzały go do nich, jak do spełnienia najświętszego obowiązku.

Gieniusz i charakter Faradaya zdobyły mu najwyższe uznanie i sympatyę współczesnych; nie szczędzono mu też ich oznak zewnętrznych. Już w r. 1832 został mianowany doktorem praw uniwersytetu w Oxfordzie z racji pierwszego zjazdu przyrodników angielskich.

Od Królewskiego Towarzystwa Nauk otrzymał kilka medali za swe prace. W r. 1857 Towarzystwo to ofiarowało mu fotel przewodniczącego—najwyższe odznaczenie, jakie nauka dać mu mogła, ale Faraday odmówił przyjęcia zarówno tego zaszczytu, jak i dwu innych, jakie mu ofiarowywano: stanowiska przewodniczącego Instytutu Królewskiego i tytułu szlacheckiego. „Do końca życia pozostanę zwyczajnym Michale Faradaye”, były jego słowa. I żadne tytuły nie dodałyby więcej blasku temu imieniu, pod którem czcimy nie tylko wielkiego uczonego, ale i jeden z najpiękniejszych, najczystszych charakterów, jakie ludzkość wydała.

Współczesny Faradaya słynny chemik francuski Dumas tak go charakteryzuje: „Faraday był wzrostu średniego, żywy, wesóły, o wzroku bystrym, ruchach szybkich i pewnych, niezrównanie zręczny w sztuce eksperymentowania. Dokładny, ścisły, oddany całkowicie swym obowiązkom; gdy w młodości swej przygotowywał wykłady Davy'ego, podziwiano, z jaką ścisłością do-

świadczanie odpowiadało myśli i słowu profesora. Żył w swej pracowni, wśród swych przyrządów naukowych. Szedł tam rano, a wychodził wieczorem, jak kupiec, który cały dzień przepędza w swym kantorze. Prostota serca, czystość charakteru, gorące umiłowanie prawdy, szczerza sympatya dla każdego powodzenia, naiwne uwielbienie dla odkryć innych, a skromność naturalna, gdy chodziło o jego własne odkrycia, wszystko to razem nadawało jego postaci urok niezrównany“.

Zakończył swój pracowity i płodny żywot 26-go sierpnia 1867 roku.

Badania doświadczalne nad elektrycznością. *)

SERYA I (r. 1832).

Odkrycie prądów indukcyjnych.

1. Zdolność elektryczności statycznej do wywoływania w pobliżu siebie stanu elektrycznego odwrotnego jest powszechnie oznaczana wyrazem indukcya¹⁾; ponieważ został on przyjęty w mowie naukowej, nie powinno się wydać rzeczą niewłaściwą zastosowanie go również w znaczeniu ogólnem do siły, dzięki której prądy elektryczne przeprowadzają ciała sąsiednie ze stanu obojętnego w stan szczególny.

2. Pewne działania indukcji prądów elektrycznych są już dziś znane; np. działanie magnesujące, spostrzeżenia Ampère'a przy zbliżaniu krążka miedzianego do płaskiej spirali, jego powtórzenie nadzwyczajnych doświadczeń Arago zapomocą elektromagnesów²⁾ i, być może, jeszcze parę innych. Tymczasem nie wydawało się rzeczą prawdopodobną, aby to miało już wyczerpywać wszystkie zjawiska możliwe; dzięki indukcji prądów elektrycznych, szczególnie, że właściwie występują one wyraźnie tylko przy użyciu żelaza, że za-

*) „Experimental Researches in Electricity“ ukazywały się w 29 serjach pomiędzy r. 1832 a 1852 w Philosophical Transactions. Przekładu dokonano z wydania niemieckiego w „Ostwald's Klassiker“ w tłumaczeniu Oettingen'a. Liczbowanie ustępów odpowiada liczbowaniu woryginału.

tem pozostawało jeszcze do zbadania pod względem indukcji elektryczności w ruchu wiele innych ciał, na które elektryczność statyczna wywiera wpływ niewątpliwy.

3. Ponieważ nadto każdemu prądowi elektrycznemu towarzyszy działanie magnetyczne, prostopadłe do jego kierunku, więc byłoby, według pięknej teorii Ampère'a³⁾, jak i według każdej innej, rzeczą bardzo niezwykłą, gdyby prąd taki w granicach swego działania nie wytwarzał w dobrych przewodnikach prądu, lub równoważnej mu siły.

4. Te rozważania i poczerpnięcia z nich nadzieja otrzymania elektryczności, wzbudzonej przez zwykły magnetyzm, skłaniały mnie różnymi czasy do wykonywania doświadczeń nad działaniem indukującym prądów elektrycznych. Niedawno wreszcie doszedłem do wyników rozstrzygających, które nie tylko spełniły moje nadzieje, ale nadto doprowadziły mnie do wyjaśnienia, jak mi się zdaje zupełnego, zjawisk magnetycznych Arago...

5. Zdobyte wyniki opiszę nie w takiej kolei, w jakiej zostały odkryte, ale w takiej, jaka pozwala na najjaśniejsze ujęcie całości.

I. Indukcja prądów elektrycznych.

6. Drut miedziany około 26 stóp długości i $\frac{1}{20}$ cala grubości nawinięto wzdłuż linii śrubowej na cylinder drewniany i, aby zwoje jego nie stykały się z sobą, umieszczono pomiędzy nimi nić. Następnie całą tę warstwę powleczoneo perkalem i na nim nawinięto w ten sam sposób drugi drut. Tak nałożono jeden na drugi ogółem dwanaście drutów, każdy przeciętnie długości 27 stóp, nawijając je w jednym i tym samym kierunku. Pierwszy, trzeci, piąty, siódmy, dziewiąty i jedenasty z tych drutów połączono z sobą końcami tak, że tworzyły jeden drut spiralny. W podobny sposób połączono pozostałe druty; ogółem istniały więc dwa druty spiralne, każdy 155 stóp długi, które posiadały ten sam kierunek i obejmowały się kolejno nawzajem, nigdzie się z sobą nie stykając.

7. Jeden z tych drutów połączono z galwanometrem, drugi z dobrze nabitą baterią Volty o dziesięciu parach płyt, każda z nich 4 cale w kwadrat, przytem miedziane były brane podwójnie ⁴). Mimo to nie dało się dostrzedz najmniejszego odchylenia igły galwanometru ⁵).

Taki sam rezultat ujemny otrzymano, gdy jeden z drutów był żelazny; wogóle w zachowaniu się żelaza i innych metali nie dostrzeżono żadnej różnicy.

10. Drut miedziany długości 203 stóp nawinięto w całości na duży walec drewniany, a pomiędzy jego zwojami drugi drut podobny, tej samej długości, nie dopuszczając jednak zapomocą nici do ich zetknięcia bezpośredniego. Jeden z tych drutów połączono z galwanometrem, drugi z dobrze nabitą baterią o 100 parach takich, jak w (7). W chwili połączenia drutu z baterią widać było nagłe ale bardzo drobne działanie na galwanometr, a podobne słabe działanie pokazało się przy przerywaniu tego połączenia. Dopóki jednak prąd elektryczny przepływał przez jeden z drutów spiralnych, nie można było zauważyć ani śladu jakiegokolwiek działania, choć bateria była bardzo silna, jak na to wskazywało rozgrzanie się całego drutu i świetne iskry, otrzymywane przy rozbrojeniu przez ostrza węglowe.

11. Powtórzenie tych doświadczeń z baterią o 120 parach płyt nie dało innych wyników. Okazało się jednak, że zarówno tu, jak i poprzednio, odchylenie igły w chwili zamykania miało kierunek przeciwny, niż podobne słabe odchylenie w chwili przerywania łańcucha. To samo zachodziło przy użyciu drutów spiralnych, wspomnianych poprzednio (6,7).

12. Wyniki, osiągnięte później z magnesami, nasunęły mi przypuszczenie, że prąd voltaiczny, przechodząc przez jeden z drutów, rzeczywiście wzbudza w drugim drucie prąd podobny, ale trwający tylko chwilę i z natury swej bardziej zbliżony do fali elektrycznej ⁶), przeskakującej przy rozbrojeniu butelki lejdejskiej, niż do rozbrojenia baterji Volty,

gdź, choć nie działał prawie wcale na galwanometr, był jednak w stanie namagnesować igły stalowe.

13. I przypuszczenia moje sprawdziły się; skoro zamiast galwanometru wziąłem drut, nawinięty spiralnie około rurki szklanej, w rurkę wsunąłem igłę stalową i, jak przedtem (7,10), połączyłem drut wzbudzający z baterią, a następnie wyjąłem igłę, zanim połączenie zostało przerwane, to igła okazała się namagnesowaną.

14. Gdy najpierw dokonano połączenia z baterią, następnie igłę nienamagnesowaną wsunięto do małej spirali z drutu i teraz znów przerwano połączenie, to igła nabrała magnetyzmu, jak się zdawało, równie silnego, jak poprzednio, bieguny jej leżały jednak odwrotnie.

15. Te same zjawiska wystąpiły przy użyciu dużych, złożonych drutów spiralnych, opisanych poprzednio (6,7)...

18. Przy doświadczeniach poprzednich druty umieszczano blisko siebie, a chcąc otrzymać działanie, łączono drut indukujący z baterią. Ponieważ jednak aktowi zamykania i przerywania łańcucha mogłoby towarzyszyć szczególne jakieś działanie, więc urzeczywistniono indukcyę na innej drodze. Kilka stóp drutu miedzianego rozpięto w szerokie zyg-zaki w kształcie litery W na powierzchni szerokiej deski; drugi drut umocowano w ten sam sposób na innej desce; następnie połączono jeden z drutów z galwanometrem, a drugi z baterią Volty. Gdy teraz pierwszą deskę wraz z jej drutem szybko zbliżono do drugiej, igła się odchyliła; przy odsuwaniu deski nastąpiło to samo, lecz w stronę przeciwną. Jeżeli zbliżania i oddalania desek dokonywano zgodnie z wahaniem igły magnetycznej, to stawały się one bardzo dużemi, ale igła powracała wkrótce do położenia pierwotnego, skoro zaprzestano poruszania drutami.

19. Przy zbliżaniu wzajemnem drutów prąd indukowany był skierowany *odwrotnie* w stosunku do prądu indukującego. Przeciwnie, przy oddalaniu drutów od siebie prąd wzbudzony miał kierunek ten sam, co i prąd wzbudzający.

Jeśli druty pozostawały w odległości nieziennej, to prądu indukowanego wcale nie było.

20. Jeśli w łuk pomiędzy galwanometrem a drutem spiralnym włączono małe ogniwo galwaniczne tak, że igła podlegała odchyleniu o 30° do 40° , i teraz łączono baterye o 100 parach płyt z drutem wzbudzającym, to istniało, jak poprzednio, działanie chwilowe (11); igła jednak powracała natychmiast do położenia poprzedniego i trwała w niem, pomimo że bateria pozostawała wciąż zamkniętą przez drut wzbudzający. Tak było zawsze, w którymbądź kierunku dokonywano zamknięcia.

21. Z tego wynika, że prądy, leżące obok siebie, o kierunkach zgodnych lub odwrotnych, nie wywierają na siebie indukcji trwałej, któraby mogła zakłócać ich siłę lub napięcie.

26. Wynikiem indukcji jest wytwarzanie innych prądów, wprawdzie tylko chwilowych, które są równoległe do prądu wzbudzającego, lub przynajmniej do tego dążą... Wszystkie te wyniki zostały otrzymane z przyrządem Volty którego płyty tworzyły jedną tylko parę ⁷⁾.

II. Wzbudzanie elektryczności przez magnetyzm.

27. Z okrągłego pręta żelaza miękkiego grubości siedmiu ósmych cala wykuto pierścien o średnicy zewnętrznej sześciocalowej i na część tego pierścienia, wynoszącą dziewięć cali, nawinięto jeden na drugi trzy druty miedziane, każdy o długości 25 stóp i o grubości $\frac{1}{20}$ cala, w sposób opisany poprzednio (6), tak, że warstwy drutu były izolowane od siebie i od żelaza. Układ tych drutów, które mogły być używane oddzielnie lub w połączeniu, jest oznaczony lit. A na fig. 17. B oznacza

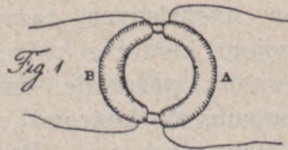


Fig. 17. Indukcja prądów.

drugi układ zwojów, nawinięty w tym samym kierunku co A, złożony z dwóch drutów miedzianych 30 stóp długich i oddzielony od A na obu końcach przestrzenią wolną, na pół cala szeroką.

28. Zwoje B połączone drutami miedzianymi z galwanometrem, oddalonym od pierścienia o trzy stopy, a druty A, spojone końcami w jedną linię śrubową — z baterią o dziesięciu parach płyt, po 4 cale w kwadracie. Działanie na galwanometr pokazało się natychmiast i to bez porównania silniejsze, niż poprzednio, kiedy używano baterii dziesięć razy silniejszej bez udziału żelaza (10). Ale pomimo, że bateria pozostawała zamkniętą, działanie nie było trwałe; igła powróciła wkrótce do swego położenia naturalnego. Tymczasem przy przerywaniu łańcucha igła została znów potężnie odchylona i to w stronę przeciwną, niż przedtem...

30. Jeśli połączeń dokonywano w tym lub innym kierunku, to i igła odchyłała się w jedną lub drugą stronę. Przy przerywaniu łańcucha odchylenie było zawsze odwrotne, niż przy zamykaniu. Odchylenie przy zamykaniu wskazywało zawsze na istnienie prądu wzbudzonego wtórnie, skierowanego odwrotnie, niż prąd z baterii; natomiast przy przerywaniu prąd wtórny miał zawsze kierunek zgodny z kierunkiem prądu z baterii...

34. Następnie urządzono doświadczenie tak, aby mógł skojarzyć badania poprzednie nad indukcją zapomocą prądów voltaicznych z badaniami obecnymi. W tym celu owinięto pusty cylinder tekturowy kombinacją drutów spiralnych, podobną do opisanej w (6). Zawierała ona osiem drutów miedzianych, razem 220 stóp długości; cztery z nich, spojone koniec z końcem, połączono z galwanometrem (7), a cztery pozostałe, nawinięte pomiędzy nimi, również po spojeniu ich końcami zostały użyte do zamknięcia baterii o 100 parach płyt. Przy takim urządzeniu działanie na galwanometr było ledwo dostrzegalne (11), można było jednak zapomocą prądu wtórnego magnesować igły stalowe (13). Gdy jednak w rurę tekturową, owiniętą spiralnie drutem,

wsunięto cylinder z miękkiego żelaza $\frac{7}{8}$ cala grubości i 12 cali długości, prąd wtórny działał na galwanometr potężnie i wywołał wszystkie opisane już zjawiska (30); posiadał również zdolność magnesowania stali, wyraźnie w wyższym jeszcze stopniu, niż w nieobecności cylindra żelaznego.

35. Gdy zamiast pręta żelaznego wzięto taki sam pręt miedziany, nie powstawało żadne działanie takie, jakiegoby nie wywierały same tylko druty spiralne...

36. Podobne działania wywołano zapomocą *zwykłych prętów magnetycznych*. Mianowicie, po związaniu w jedną całość drutów spiralnych, znajdujących się na rurce tekturowej, połączono je z galwanometrem zapomocą dwóch drutów miedzianych o długości pięciu stóp; następnie wstawiono w oś rury cylinder z miękkiego żelaza; teraz dwa pręty magnetyczne, każdy o długości 24 cali, złączono w kształt podkowy, stykając je biegunami przeciwnymi, a bieguny

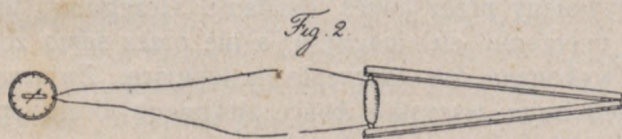


Fig. 18. Indukcja przez zbliżanie magnesów.

pozostałe nałożono na końce cylindra żelaznego tak, że ten musiał się zamienić na magnes (fig. 18). Przez usuwanie lub odwracanie prętów magnetycznych można było dowolnie niweczyć lub odwracać magnetyzm cylindra żelaznego.

37. Przy nakładaniu magnesów na cylinder żelazny igła odchylała się; gdy zetknięcie trwało czas dłuższy, powracała do położenia początkowego; przy przerywaniu zetknięcia była znów odchylana, lecz w stronę przeciwną niż poprzednio, a następnie znów przybierała położenie pierwotne. Gdy przykładano magnesy w położeniu odwrotnem, odchylenia igły były także odwrócone.

38. Odchylenie igły wskazywało, że prąd wtórny, wzbudzany przez nakładanie prętów magnetycznych na cylinder żelazny, posiadał kierunek odwrotny względem takiego prądu, któryby cylindrowi żelaznemu udzielił namagnesowania takiego samego, jakie powstało w nim w rzeczywistości przez zetknięcie z magnesami. Jeśli np. ustawiono biegun znaczony i niezznaczony⁸⁾ jak na fig. 19, prąd w drucie spiralnym miał kierunek taki jak wskazuje rysunek... Prąd ten magnesowałby pręt żelazny w kierunku przeciwnym, niż zetknięcie z biegunami magnesów; prąd ten porusza się też w kierunku odwrotnym względem prądów, które, według pięknej teorii p. Ampère'a, tworzą magnes, położony tak, jak wskazuje rysunek.

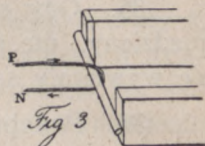


Fig. 19. Kierunek prądów indukcyjnych.

39. Ponieważ możnaby przypuszczać, że prąd chwilowy, wzbudzany w doświadczeniach poprzednich, mógł być wywołany przez jakieś działanie szczególne, towarzyszące tworzeniu się magnesu, a nie przez samo zbliżanie, przeto wykonano doświadczenie następujące. Związano drutem miedzianym wszystkie końce złożonego drutu spiralnego, leżące jednakowo, i połączono z galwanometrem końce główne, w ten sposób wytworzone. Pręt z miękkiego żelaza usunięto, a zamiast niego użyto pręta magnetycznego w kształcie cylindra $\frac{3}{4}$ cala grubego, a $8\frac{1}{2}$ cala długiego. Ten magnes wstawiono jednym końcem w oś drutu spiralnego i, gdy igła galwanometru uspokoiła się, wsunęto go nagle. Igła odchyliła się natychmiast w kierunku takim samym, jak gdyby magnes został dopiero wytworzony jedną z poprzedzających metod (34, 36). Jeśli magnes pozostawał wewnątrz, igła przyjmowała napowrót swe położenie pierwotne; gdy go się usuwało, odchyliła się w kierunku przeciwnym. Wychylenia nie były wielkie, ale przez powtarzanie wsuwania i wysuwania magnesu zgodnie z ruchami igły można było ją wreszcie doprowadzić do wahań o 180° i więcej.

40. Przy tem doświadczeniu nie należało przesuwac magnesu całkowicie przez spiralę z drutu, gdyż w tym wypadku występowało inne działanie. Gdy magnes wsuwano, igła odchyłała się w pewnym kierunku; jeśli jednak, gdy był już wewnątrz, przepychano go na wskrós lub też wycofywano, igła odchyłała się w stronę przeciwną. Gdy przesuwno magnes przez spiralę jednym ciągiem, igła odchyłała się w jednym kierunku, potem zatrzymywała się nagle i wreszcie szła w stronę przeciwną....

42. Te zjawiska są prostemi konsekwencyami prawa, opisanego poniżej....

.....

W czwartym rozdziale tej seryi Faraday tłumaczy zjawisko magnetyzmu rotacyjnego Arago (ob. str. 99) działaniem prądów indukcyjnych, wzbudzonych w metalach, w pobliżu których magnes się porusza; przy tej sposobności uogólnia wyniki swoich doświadczeń i wypowiada prawo ogólne, dotyczące warunków powstawania oraz kierunku prądów indukcyjnych. Sprowadza w niem wszystkie wypadki indukcji do jednego i tego samego czynnika: do przecinania przez przewodnik linii siły magnetycznej; tu traktuje jeszcze linie sił, jako twory czysto myślowe.

SERYA II (r. 1832).

VI. Uwagi i wyjaśnienia ogólne, dotyczące siły i kierunku indukcji magneto-elektrycznej.

232. Jeśli przez drut przepuszczać prąd elektryczny, to drut ten w każdym punkcie jest otoczony krzywami magnetycznymi *), które słabną w miarę oddalania się od drutu i dają się porównać do pierścieni, leżących w płaszczyznach

*) Przez krzywe magnetyczne rozumiem znane linie, wzdłuż których układają się opiłki żelazne, czyli takie linie, które byłyby stycznymi do kierunków bardzo małej igły magnetycznej.

prostopadłych do drutu, a raczej do zawartego w nim prądu. Te krzywe, choć kształtu odmiennego, są jednak zupełnie analogiczne do krzywych, które istnieją pomiędzy dwoma przeciwnymi biegunami magnetycznymi, zwróconymi ku sobie; jeśli więc do drutu, przez który płynie prąd, zbliżyć drugi drut w położeniu równoległym, to przechodzi on poprzez krzywe magnetyczne zupełnie tego samego rodzaju jak te, które musiałby przecinać, gdyby go prowadzić w linii prostej pomiędzy dwoma przeciwnymi biegunami magnetycznymi; a podczas oddalania od drutu wzbudzającego przecina otaczające go krzywe w ten sam sposób, jakby je przecinał pomiędzy tymi samymi biegunami, gdyby go prowadzić w kierunku odwrotnym....

235.... Ale takie przecinanie krzywych magnesu wywołałoby w drucie prąd elektryczny, a że krzywe prądu posiadają taki sam układ, więc ich przecinanie musi powodować ten sam skutek. Tak też jest w istocie, gdyż przy zbliżeniu powstaje prąd wtórny, skierowany przeciwnie niż prąd główny....

237. Jeśli drugi drut trzymać spokojnie obok głównego, to żaden prąd w nim nie powstanie, gdyż nie przecina on żadnej krzywej magnetycznej. Gdy go jednak oddalać, wówczas przecina krzywe magnetyczne w kierunku przeciwnym niż przedtem (235); dlatego też zostaje wzbudzony prąd o kierunku odwrotnym względem poprzedniego, t. j. o kierunku zgodnym z kierunkiem prądu głównego (19)....

238. Przy pierwszych doświadczeniach (10, 13) oba druty, pobudzający i pobudzany, pozostawały w stałej odległości od siebie, a przez pierwszy z nich przepuszczano prąd elektryczny. W takich wypadkach należy przypuszczać, że krzywe magnetyczne poruszają się (jeśli można użyć takiego wyrażenia) prostopadle względem drugiego drutu od chwili zaczynania się prądu, aż do chwili jego największego natężenia; to rozchodzenie się krzywych działa tak samo, jak poruszanie drugiego drutu ku tym krzywym lub ku drutowi, przewodzącemu prąd. Z tego powodu prąd wtórny, wzbudzany w tych wypadkach, ma kierunek przeciwny,

niż prąd główny (17, 235). Przy otwieraniu baterji Volty można sobie wyobrazić, że krzywe magnetyczne (co jest jedynie wyrażeniem na układ sił magnetycznych) kurczą się i powracają do zanikającego prądu elektrycznego, że więc poruszają się względem drutu w kierunku przeciwnym, przez co zostaje wzbudzony prąd wtórny o kierunku przeciwnym w stosunku do pierwotnego.

239. Jeśli przy doświadczeniach z magnesami zwykłymi, zamiast zbliżyć je do drutów, wytwarza się je dopiero w ich pobliżu (27, 36), to można przypuścić, że zachodzi podobne stopniowe rozwijanie się krzywych magnetycznych. Zachodzące przy tem działania odpowiadają ruchowi drutów w jednym kierunku; niweczenie magnetyzmu odpowiada ruchowi drutów w kierunku odwrotnym....

Prawa elektrolizy.

Natychmiast po ogłoszeniu opisu stosu galwanicznego Volty w r. 1800, szereg wybitnych fizyków i chemików zajął się badaniem otrzymywanych z niego prądów elektrycznych. Jeszcze w tym samym roku zauważyli dwaj anglicy: Nicholson i Carlisle, że po zanurzeniu drutu, wiodącego od jednego bieguna stosu, w kropli wody, umieszczonej na drugim biegunie, w wodzie powstają pęcherzyki gazu; w celu dokładniejszego zbadania zjawiska zanurzyli dwa druty wiodące od biegunów stosu w rurkę z wodą: na jednym z drutów zaczął wywiązywać się wodór, na drugim tlen, który natychmiast utleniał drut miedziany; było to pierwsze stwierdzenie rozkładu wody zapomocą prądu elektrycznego. Ritter, Cruikshank, Henry i Davy rozłożyli w ten sam sposób szereg innych cieczy, stwierdzając przez to wielką powszechność zjawiska. Ale dopiero Faraday usystematyzował te luźne obserwacje, które wzbogacił ogromną ilością swych własnych spostrzeżeń. Rozróżnił przedewszystkiem dwa rodzaje przewodnictwa: metaliczne i elektrolityczne; następnie zbadał prawa ilościowe, rządzące zjawiskami rozkładu elektrolitycznego.

W III seryi swych „Badań“, poświęconej dowodzeniu, że elektryczności różnego pochodzenia nie różnią się od siebie w swej

istocie, zapragnął porównać ilościowo działania elektryczności „zwykłej“ (statycznej) i galwanicznej. Przekonał się, że elektryczność, wytworzona przez 30 obrotów maszyny elektrycznej, zebrana za pomocą baterii butelek lejdejskich i naraz wyładowana, udziela igle galwanoskopu impulsu takiego samego, jak elektryczność, dostarczana w przeciągu $\frac{8}{150}$ minuty z ogniwa cynkowo-platynowego; wywnioskował stąd, że te dwie ilości elektryczności były sobie równe⁹⁾. Następnie zauważył, że obie te równe sobie ilości elektryczności, choć o różnym napięciu i pochodzące z różnych źródeł, wywierają równe działania chemiczne, rozkładając takie same ilości jodku potasu. Po rozszerzeniu badań na inne ciała, a przede wszystkim na wodę, doszedł do sformułowania następującego prawa „stałego działania chemicznego elektryczności: „ta sama ilość wody zostaje rozłożona przez tę samą ilość elektryczności“; na tej podstawie oparł budowę woltamtru wodnego, który posłużył mu w dalszych pracach do mierzenia ilości elektryczności, użytych w procesach elektrolitycznych. Zapomocą tych przyrządów badał rozkład kwasu solnego i wodnego roztworu jodowodoru; ilości wodoru w obu wypadkach były jednakowe i równe tej ilości wodoru, jaką otrzymał przez równoczesny rozkład wody w woltametrze, połączonym w szereg z przyrządem do rozkładu ciał badanych. Wszystkie zbadane do tego czasu ciała były roztworami wodnymi.

SERYA VII (r. 1833).

O określonych stosunkach przy rozkładzie elektrochemicznym i o zakresie tegoż.

789..... Aby usunąć wszelką wątpliwość, jaką mogłaby wzbudzić obecność jej (wody), wyszukałem substancje, wolne od niej całkowicie. Przy pomocy rozwiniętego powyżej prawa przewodnictwa (elektrolitycznego) znalazłem ich wkrótce wiele, a z pomiędzy nich najpierw został poddany rozkładowi chlorek cynawy i to w sposób następujący: drucik platynowy, zwinięty na końcu w gałeczkę i zważony starannie, zatopiono szczelnie w rurkę ze szkła butelkowego tak, że gałeczka znajdowała się na dnie rurki (rys. 20); następnie

rukę zawieszono na druciku platynowym, aby ją mógł ogrzewać płomieniem spirytusowym. Teraz nałożyłem do rurki świeżo przetopionego chlorku cynawego w takiej ilości, aby w stanie płynnym wypełniał rurkę do połowy. Drut rurki łączyłem z woltametrem, który ze swej strony łączył się

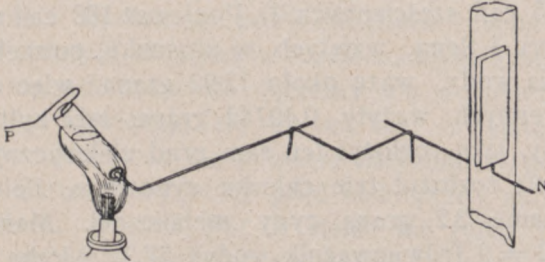


Fig. 20.

z biegunem ujemnym baterji woltaicznej, a drucik platynowy, przymocowany do bieguna dodatniego tejże baterji, zanurzałem w roztopionym chlorku w rurce; drucik był tak wygięty, że nie mógł dotknąć elektrody ujemnej na dnie naczynia, w razie gdyby zadrżała ręka lub przyrząd. Całe urządzenie jest widoczne na rysunku.

790. W tych warunkach następował rozkład chlorku cynawego. Chlor, powstający na elektrodzie dodatniej, tworzył chlorek cynowy ¹¹⁾, który uchodził w postaci par, a cyna, wydzielona na elektrodzie ujemnej, łączyła się z platyną, tworząc stop, który topił się w temperaturze, jakiej była poddana rurka; wskutek tego nigdy nie mogło powstać połączenie metaliczne pomiędzy elektrodami. Gdy doświadczenie trwało już tak długo, że wytworzyła się odpowiednia ilość gazu w woltametrze, baterję otworzono, elektrodę dodatnią usunięto, a rurkę z resztą chlorku pozostawiono aż do ostygnięcia. Gdy rurka była już zupełnie chłodna, stłuczono ją, poczem chlorek i szkło dały się łatwo oddzielić od drutu i gałeczki stopu platynowego. Ta ostatnia, zważona po przemyciu, przyrostem ciężaru wykazywała ilość zredukowanej cyny.

791. Dla objaśnienia sposobu wykonania tego i innych

doświadczeń, których wyniki będą miał sposobność przytoczyć, podaję szczegółły jednego takiego doświadczenia. Elektroda ujemna ważyła początkowo 20 granów, a po doświadczeniu ważyła razem z gałeczką stopu 23,2 grana. Cyna, wydzielona na katodzie przez prąd elektryczny, ważyła więc 3,2 grana. Ilość tlenu i wodoru, zebranych w woltametrze, była = 3,85 cali sześciennych¹²⁾. Ponieważ 100 cali sześciennych wodoru i tlenu, wziętych w stosunku, potrzebnym do wytworzenia wody, ważą około 12,92 grana, więc owe 3,85 cali sześciennych ważyły 0,49742 grana; taki byłby zatem ciężar wody, jaką rozłożył ten sam prąd elektryczny, który był w stanie rozłożyć tyle chlorku cynowego, ile potrzeba na otrzymanie 3,2 grana cyny metalicznej. Mamy teraz $0,49742 : 3,2 = 9$ (równoważnik wody): 57,9. Liczba ta byłaby zatem ciężarem cyny¹³⁾, gdyby doświadczenie było wykonane bez błędu i gdyby rozkład elektrolityczny w tym wypadku był także określonym. W niektórych dziełach chemicznych jako równoważnik chemiczny cyny podają 58, w innych 57,9. Obie liczby są tak zbliżone do wyników powyższych, a doświadczenie samo podlega tak nieznacznym przyczynom zmian (np. wskutek pochłaniania gazów w woltametrze i t. d.), że nie pozostaje prawie wątpliwości, iż i w tym i we wszystkich podobnych wypadkach rozkładu elektrochemicznego stosuje się prawo stałego działania.

Dalsze doświadczenia obejmują rozkład chlorku ołowiu, tlenków (ołowiu, bizmutu, antymonu) i jodków (ołowiu i potasu); rezultaty były nieco gorsze niż poprzedzające wskutek różnych procesów wtórnych.

806. Przy niektórych z tych doświadczeń umieszczano obok siebie kilka tych substancji i rozkładano jednocześnie jednym i tym samym prądem elektrycznym. Działalem więc prądem jednocześnie na chlorek cynawy, chlorek ołowiu i na wodę. Niepotrzeba dodawać, że wyniki dawały się z sobą porównywać, że cyna, ołów, chlor, tlen i wodór wywiązywały się w ilościach stałych, odpowiadających ich równoważnikom chemicznym.

807. Zwróćmy się teraz do innego rodzaju dowodu stałego działania chemicznego elektryczności. Gdyby istniała jaka okoliczność, która mogłaby wpływać na ilość substancji, wywiązywanych przez działanie elektryczne, to, przypuścić należy, występowałyby wtedy, gdyby zostały użyte elektrody z rozmaitych ciał, obdarzonych bardzo nierównem powinowactwem chemicznem do ciał wydzielanych. Platyna w rozcieńczonym kwasie siarkowym nie ma zdolności do łączenia się z tlenem na anodzie, choć wywiązuje się on na niej in statu nascendi. Miedź natomiast łączy się z tlenem natychmiast, gdy ten tylko zostanie uwolniony przez prąd elektryczny za pośrednictwem wodoru. A cynk jest w stanie nie tylko łączyć się z tlenem, ale może odciągać go wprost z wody bez pomocy elektryczności, przy jednoczesnem wydzielaniu pęcherzyków wodoru. A jednak, gdy te trzy ciała zostały użyte jako elektrody w trzech podobnych porcjach tego samego kwasu siarkowego o cięż. właśc. 1,336,—dokładnie te same ilości wody zostały rozłożone przez prąd elektryczny i dokładnie te same ilości wodoru zostały oswobodzone na katodach w tych trzech roztworach...

Następuje szczegółowy opis doświadczenia; te same wyniki dał rozkład kwasu solnego z elektrodami z cynku, srebra, platyny i węgla, oraz stopionych chlorków i jodków z różnemi elektrodami. Przy użyciu anody srebrnej w stopionym chlorku srebra lub ołowianej w chlorku ołowiu okazywało się, że ilość metalu, osadzona na katodzie, była ściśle równą ilości metalu, rozpuszczonego na anodzie.

821. Wszystkie te fakty, jak mi się wydaje, dowodzą w sposób najbardziej zgodny i nieodparty prawdy ważnego twierdzenia, wypowiedzianego na początku, a mianowicie: że siła chemiczna prądu elektrycznego jest proporcjonalna do ilości bezwzględnej przechodzącej elektryczności. Następnie dowodzą one, że to twierdzenie stosuje się nietylko do jednego ciała, np. wody, lecz do wszystkich ciał elektrycznych wogóle, a nadto,

że wyniki, otrzymane z jakimkolwiek jednym ciałem, zgadzają się nie tylko z sobą ale i z wynikami, otrzymanymi z innymi ciałami; tak, że wszystko razem składa się na szereg ściśle określonych działań elektrochemicznych...

822. Powżej wyłożona i, jak mniemam, ustalona nauka o określonym działaniu chemicznem prowadzi do kilku nowych poglądów na stosunki i podział ciał, które temu działaniu podlegają lub są z nim związane. Rozpatrzę tu kilka z nich.

823. Po pierwsze: ciała złożone mogą być rozdzielone na dwie wielkie klasy, mianowicie na ciała rozkładane i nierozkładane przez prąd elektryczny. Z tych ostatnich niektóre przewodzą, inne zaś nie przewodzą elektryczności voltaicznej^{*)}. Zdolność ciał pierwszej klasy do rozkładu zależy nie tylko od natury ich części składowych (gdyż z tych samych pierwiastków mogą być utworzone dwa ciała, z których jedno należy do pierwszej klasy, a drugie do drugiej), lecz prawdopodobnie i od ich wzajemnego stosunku. Jest przytem rzeczą ciekawą, że z bardzo nielicznymi, a może i bez żadnych wyjątków ciała rozkładane są to dokładnie te same ciała, któremi rządzi opisane przezemnie poprzednio, a godne zastanowienia prawo przewodnictwa¹⁴⁾; gdyż prawo to nie rozciąga się na liczne topliwe substancje złożone, stojące poza tą klasą. Proponuję więc nazwę elektrolitów dla ciał, należących do tej klasy.

824. Następnie: substancje, na które rozpadają się elektrolity, tworzą nadzwyczaj ważną klasę ogólną. Ciała te mogą się łączyć z sobą, stoją w związku bezpośrednim z podstawowemi twierdzeniami nauki o powinowactwie chemicznem i każde z nich jest wywiązywane w stałym stosun-

^{*)} Przez elektryczność voltaiczną rozumiem tu jedynie elektryczność ze źródła bardzo obfitego i o bardzo niskiem napięciu.

ku podczas działania elektrolitycznego. Jako nazwę ogólną dla tych ciał proponowałem jony, a w szczególności aniony i kationy, zależnie od tego, czy powstają na anodzie czy na katodzie, a dla względnych ilości, w jakich się wywiązują proponowałem nazwę równoważników elektrochemicznych. Wodór, tlen, chlor, jod, ołów i cyna są jonami; pierwsze trzy są anionami, oba metale są kationami, a liczby 1, 8, 36, 125, 104, 58 są w przybliżeniu ich równoważnikami elektrochemicznymi....¹⁵⁾

SERYA XI (r. 1838).

XVIII. O indukcji¹⁶⁾.

1. Indukcja przez działanie cząstek przyległych.

1161. Nauka o elektryczności znajduje się obecnie w tym stanie, w którym każdy z jej działów wymaga zbadania doświadczalnego, nie tylko w celu odkrycia nowych zjawisk, ale, co jest rzeczą o wiele ważniejszą, aby udoskonalic środki wywoływania już znanych i, co za tem idzie, aby ściślej określić ostateczne zasady działania tej najniezwyklejszej i najogólniejszej z sił przyrody. Dla fizyków, którzy oddają się badaniom z zapałem ale i ostrożnością, kojarzą doświadczenie z analogią, nie ufają swemu z góry powziętemu zdaniu, polegają bardziej na faktach niż na teoriach, nie uogólniają zbyt pośpiesznie i, przedewszystkiem, są gotowi do sprawdzania swych poglądów na każdym kroku zapomocą rozważań i doświadczeń¹⁷⁾, dla takich fizyków żadna inna gałąź nauk przyrodniczych nie może dostarczyć piękniejszego i wydajniejszego pola do odkryć. Spostrzegamy to aż nazbyt wyraźnie na postępach, jakich nauka o elektryczności dokonała w ostatnich latach trzydziestu¹⁸⁾. Chemia i magnetologia uznały, jedna po drugiej, jej wpływ przeważający, a, być może, wszystkie zjawiska, wpływające z sił substancji nieorganicznych, a może i większość zjawisk związanych

z życiem zwierzęcem i roślinnym, okaże się w końcu jej podporządkowaną.

1162. Pomędzy wielorakiemi działaniami, jakie przyjęto rozróżniać w elektryczności, niema chyba ani jednego, które pod względem doniosłości możnaby postawić wyżej lub bodaj na równi z tak zwaną *indukcją*. Ma ona wpływ najpowszechniejszy na zjawiska elektryczne, wydaje się związaną z każdym z nich i posiada rzeczywiście charakter zasady pierwszej, istotnej i podstawowej. Poznanie jej jest rzeczą tak ważną, że, zdaje mi się, bez gruntownej znajomości jej istoty, nie możemy posunąć się dalej w badaniu praw elektryczności. Jak moglibyśmy inaczej spodziewać się zrozumienia harmonii, a nawet jedności procesu, jaki, bezwątpienia, zachodzi przy wzbudzaniu elektryczności zapomocą tarcia, działań chemicznych, ciepła, wpływu magnetycznego, parowania, a nawet—przez istoty żyjące.

1163. W długim ciągu moich badań doświadczalnych, jako wynik ogólny narzucała mi się zawsze konieczność przyjęcia dwóch sił (dwóch elektryczności) lub też dwóch postaci (czyli kierunków) jednej siły¹⁹⁾, których rozdzielić niepodobna ani przy zjawiskach elektryczności statycznej, ani będącej w ruchu. Jednocześnie wydawało mi się zawsze rzeczą niemożliwą, aby jakakolwiek substancja mogła być, w okolicznościach dotychczas znanych, nabita bezwzględnie jedną lub drugą z tych elektryczności, a to obudziło we mnie pragnienie zdobycia poglądu jaśniejszego, niż dotychczas, na rodzaj stosunku sił elektrycznych do cząstek materialnych, szczególnie przy indukcji, na której zdają się polegać prawie wszystkie inne działania²⁰⁾.

1164. Gdy odkryłem fakt powszechny, że elektrolity, które dają się łatwo rozkładać w stanie ciekłym, w stanie stałym opierają się temu całkowicie, zdawało mi się, że znalazłem drogę, wiodącą do wejrzenia w istotę indukcji i do podporządkowania jednemu prawu zjawisk różnorodnych. Przypuśćmy, że elektrolitem jest woda²¹⁾. Jeżeli obłożyć płytkę z lodu po obu stronach blachą platynową i połączyć te okładki z trwałem źródłem obu elektryczności, to lód zo-

stanie nabity podobnie do butelki lejdejskiej. Jest to zwykła indukcya i żaden prąd przy tem nie przepływa. Gdy lód stopić, indukcya zmniejsza się do pewnego stopnia, gdyż prąd może już przechodzić; ale przejście prądu jest zależne od szczególnego układu cząsteczek; układ ten jest w związku z przechodzeniem części składowych elektrolitu w dwóch odwrotnych kierunkach, a stopień rozbrojenia jest ściśle proporcjonalny do ilości wydzielonych części składowych. Czy nabój okładek metalowych jest wytwarzany przez silną maszynę elektryczną, dużą i mocną baterję Volty, czy też przez jedną tylko parę płyt, nie czyni to żadnej różnicy w istocie przebiegu, lecz tylko w jego stopniu. We wszystkich wypadkach występuje zwykła indukcya, gdy elektrolit jest stały, a rozkład chemiczny, gdy jest ciekły, o ile nie przeszkadzają temu inne działania....

Ponieważ zatem indukcya zdaje się być w elektrolizie pierwszym krokiem, a rozkład drugim, (przyczem oddzielenie tych faz przez wytworzenie stanu stałego lub ciekłego leży w naszej mocy); ponieważ indukcya ta jest tego samego rodzaju, co wywołana środkami zwykłymi w powietrzu, szkle, wosku, lub innych substancjach; ponieważ wreszcie cały proces w elektrolizie zdaje się polegać na działaniu cząsteczek, wprowadzonych w stan szczególny czyli spolaryzowany, — więc doszedłem do przypuszczenia, że i sama zwykła indukcya jest, bądź co bądź, działaniem cząsteczek przyległych, i że działanie elektryczne na odległość (t. j. zwykle działanie indukcyjne) nie odbywa się nigdy inaczej, jak przez wpływ pośredniczący substancji otaczającej.

1165. Moje poważanie dla Aepinus'a, Cavendish'a, Poisson'a i innych znakomitych mężów, których wszystkie teorye, jak mi się wydaje, uważają indukcję za działanie na odległość i wzdłuż linii prostych, długo powstrzymywało mnie od przyjęcia wymienionych powyżej zapatrywań; i choć długo poszukiwałem sposobności dowiedzenia słuszności tego poglądu, choć od czasu do czasu wykonywałem doświadczenia, skierowane do tego celu (badałem

np. przewodniki stałe i ciekłe w świetle spolaryzowanym, podczas gdy były poddane działaniu indukcji²²⁾, to jednak dopiero przed niedawnym czasem wielka powszechność tej sprawy skłoniła mnie do rozszerzenia doświadczeń i ogłoszenia swych poglądów....

1166. Decydującego probierza słuszności moich poglądów szukałem nietylko w zgodności ich z faktami znanymi, ale i w tych konsekwencyach, które z tych poglądów wypływają, o ile one są słuszne; szczególną uwagę zwróciłem na te wnioski, które nie są zgodne z teorią działania na odległość. Taką konsekwencyą jest, jak mi się zdawało, kierunek indukcji. Jeśliby się dawała skutecznie tylko po liniach prostych, przemawiałoby to, choć może nie decydująco, przeciw moim poglądom; jeśliby jednak występowała wzdłuż linii krzywych, byłoby to skutkiem naturalnym działania cząstek i, o ile mi się zdaje, nie dałoby się zupełnie pogodzić z przyjętem przez obecne teorye działaniem na odległość, które, według wszystkich znanych nam faktów i analogii jest zawsze skierowane wzdłuż linii prostych²³⁾.

1167. Jeśli, dalej, indukcya, a również pierwsza faza przy rozkładzie elektrolitycznym polega na działaniu cząsteczek przyległych, to wydaje się usprawiedliwionem oczekiwanie, iż pomiędzy indukcją a różnemi substancjami, w których się ona odbywa, istnieje jakiś związek szczególny, coś w rodzaju indukcji właściwej dla różnych ciał; jeśliby tak było, to zależność indukcji od cząsteczek ciała zostałaby dowiedziona bezsprzecznie. Chociaż tego nie przypuszcza się nigdy w teoryi Poisson'a i innych, jednakże doszedłem do powątpiewania o słuszności przyjętych poglądów i z tego powodu poświęciłem wiele trudu na poddanie przedmiotu gruntownemu zbadaniu doświadczalnemu.

1168. Inne, stałe mi się nasuwające pytanie było takie: czy elektryczność istnieje rzeczywiście i sama w sobie, jako jeden lub dwa płyny, czy też jest tylko siłą, jak to przypuszczamy o ciężeniu....²⁴⁾ Zupełne niepowodzenie wszelkich moich starań wykazania istnienia elektryczności, niezwiązanej z materją, przez nabicie niezawisłe materji

siłą dodatnią albo ujemną — pierwsze skłoniło mnie do uważania indukcji za działanie cząsteczek ciała, z których każda zawiera obie siły w ściśle równych ilościach. Z tego i z innych powodów przytaczam najpierw uwagi o bezwzględny naboju materyi....

2. O bezwzględny naboju materyi.

1169. Czy materya, przewodząca, czy nieprzewodząca może być nabita, chociażby w stopniu najslabszym, jedną z sił elektrycznych, bez nabicia drugą, czy to w stanie dostregalnym czy też ukrytym?

1170. Piękie doświadczenia Coulomb'a, stwierdzające.... pozostawanie całej elektryczności na powierzchni przewodników, właściwie zrozumiane, wystarczają już, aby dowieść, że przewodniki nie mogą być nabite w całej swej masie....

1171. W stosunku do izolatorów lub nieprzewodników wniosek wydaje się początkowo nie tak jasnym. Dają się one łatwo elektryzować w całej masie, zarówno przez zetknięcie, jak i przez wzbudzenie; jeśli jednak bliżej rozpatrzeć taki wypadek, okazuje się, że jest to wypadek indukcji, a nie nabicia bezwzględnego....

1172. Dobrze oczyszczony olejek terpentynowy, który, jak się przekonałem, jest w większości wypadków wyborynym izolatorem, umieszczono w naczyniu metalowem, a po odizolowaniu nabijano go, to przez zetknięcie metalu z machiną elektryczną, to przez zanurzanie drutu w terpentynie. Lecz, w jakibądź sposób nabój był udzielany, przyrząd ten nigdy nie zatrzymywał elektryczności jednego rodzaju, za wyjątkiem zewnętrznej powierzchni metalu, gdzie znajdowała się tylko dzięki działaniu indukcyjnemu poprzez powietrze otaczające. Jeśli olejek terpentynowy zawarto w naczyniu szklanem, to wydawało się zrazu, że przyjmuje on bezwzględny nabój elektryczności; wkrótce jednak okazało się, że była to wspólna indukcyja poprzez ciecz, szkło i otaczające powietrze ²⁵).

1173. Z powietrzem wykonywałem te doświadczenia na wielką skalę. Kazałem zbudować z lekkich ram drewnianych sześcian o krawędziach 12 stóp długości, obciągnąć go wzdłuż i wszerz drutami miedzianymi tak, że boki stanowiły wielką sieć, następnie okleić szczelnie papierem i obłożyć wreszcie paskami cynfolii we wszystkich kierunkach, tak, że całość posiadała dobre połączenie metalowe i wszędzie przedstawiała swobodny przewodnik....

1174. Wstawiałem do sześcianu czuły elektrometr o listkach złota, a sześcian nabijałem kilka razy bardzo silnie zewnątrz; ale ani podczas, ani po nabiciu elektrometr lub powietrze wewnętrzne nie wykazywało najmniejszego śladu naboju bezwzględnego lub też naboju indukcyjnego, w którym jeden rodzaj elektryczności posiadałby jakąkolwiek przewagę ilościową nad drugim. Wszedłem do wnętrza sześcianu i pozostawałem tam z płonącymi świecami, elektrometrami i wszelkimi innymi przyrządami do rozpoznawania stanów elektrycznych, nie mogłem jednak dostrzedz najmniejszego działania na nie, ani żadnych innych oznak szczególnych, chociaż przez cały ten czas zewnętrzna strona sześcianu była silnie elektryzowana — z każdej jego części wydobywały się iskry i snopy ogniste. Wniosek, do którego doszedłem, był taki, że dotąd nie nadano bezwzględnego i niezawisłego naboju jednej tylko elektryczności ani przewodnikom, ani nieprzewodnikom i że, o ile tylko może się wydawać, taki stan materji jest niemożliwy....

.....

3. Elektrometr i przyrząd indukcyjny.

1180. Elektrometr. Przyrządem, używanym przezemnie do mierzenia, była waga skręceń Coulo m b'a, zbudowana naogół według jego wskazówek....

Zmiana, wprowadzona przez Faraday'a w metodzie pomiarów, polegała na tem, że kulkę ruchomą doprowadzał zawsze

do tego samego położenia; potrzebne do tego skrócenie nici, które odczytywał na kole górnem, było miarą siły odpychania przy niezmiennem oddaleniu obu kulek (30°). Ta metoda pozwalała uniknąć błędów, pochodzących z drobnych nieprawidłowości w kształcie i własnościach przyrządu.

1188. Przyrząd indukcyjny. Przyrząd użyty składał się głównie z dwóch kul metalowych o nierównych średnicach, z których mniejsza była umieszczona współśrodkowo wewnątrz większej; poprzez dzielącą je przestrzeń miała się odbywać indukcya. Fig. 21 pokazuje przyrząd w skali 1:3; *a, a* są to dwie połowy kuli mosiężnej, zamkniętej hermetycznie przy *b*, jak półkule magdeburskie, ... *g* jest tuleją mosiężną, przez którą jest przesunięta podpora szellakowa kuli wewnętrznej, wraz z jej prętem; *h* jest kulą wewnętrzną, również z mosiądzu; jest ona naśrubowana na pręt *i*, zakończony guzikiem mosiężnym *B*...

1195. Przyrząd opisany jest oczywiście butelką lejdejską, ma tę jednak zaletę, że można dowolnie zmieniać ośrodek dielektryczny czyli izolujący. Kule *h* i *B* wraz z drutem łączącym *i* tworzą przewodnik nabity, na którego powierzchni utrzymuje się, dzięki indukcji, cała siła elektryczna. Choć największa część tej indukcji odbywa się pomiędzy kulą *h* i kulą otaczającą *aa*, to jednak część indukcji jest też wywierana przez drut *i* oraz kulę *B* z ich powierzchni

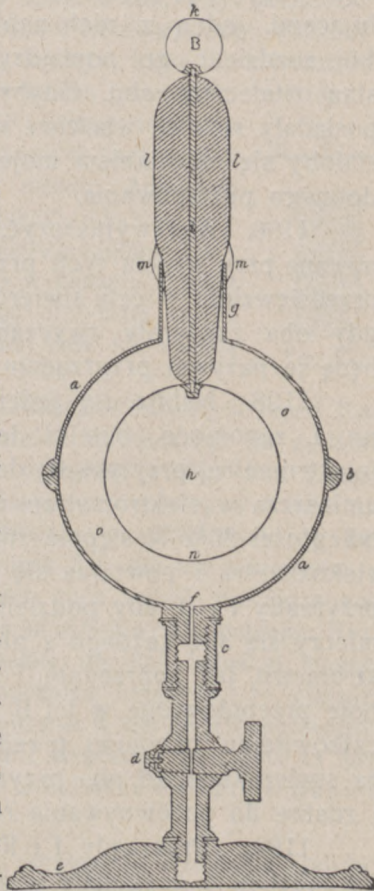


Fig. 21.

na otaczające przewodniki zewnętrzne. Ale, ponieważ pod tym względem nic się nie zmienia, więc wszystkie różnice, jakie przyrząd wykaże, jeśli w oo zmieniać ośrodek, będą pochodziły z tej zmiany. Przypuszczałem, że te różnice, o ile istnieją, wystąpiłyby najwyraźniej, gdyby mieć dwa przyrządy w rodzaju opisanego, podobne do siebie pod każdym względem; należałoby napęłnić je różnemi ciałami izolującemi, jeden z nich nabić, następnie, zmierzwszy nabój, rozdzielić go pomiędzy oba przyrządy i obserwować stan ostateczny obu. Gdyby różne ciała izolujące istotnie posiadały różnice właściwe w zdolności indukcyjnej, to musiałyby się to, zdaniem mojem, dać wykazać zapomocą podobnego postępowania.

1196. Aby wyłuszczyć, jakie środki ostrożności są konieczne przy użyciu tych przyrządów, opiszę doświadczenia, przedsięwzięte w celu stwierdzenia ich równości w wypadku, gdy oba zawierały zwyczajne powietrze. Dla odróżnienia będę je nazywał przyrządem I i II...

1198. Nabija się jeden z przyrządów indukcyjnych, np. I, zapomocą butelki lejdejskiej... Kulkę nieruchomą (elektrometru) przytyka się do wierzchołka k kulki B (fig. 21), umieszcza w elektrometrze i mierzy siłę odpychania (przy odległości 30°). Następnie znów dotyka się przyrządu I kulką elektrometru i powtarza się pomiar. Teraz łączy się z sobą przyrządy I i II, aby podzielić pomiędzy nie nabój. Wówczas mierzy się siłę każdego z nich przez przyłożenie kulki elektrometru, jak poprzednio, i zapisuje się wyniki... Jeśli naboje przepołowione w I i II są sobie równe i razem równe całkowitemu nabojowi przed podziałem, to można uważać za stwierdzone, że oba przyrządy są równe sobie co do siły i zdadne do porównywania różnych dielektryków.

1199... Przyrządy I i II muszą być zawsze ustawiane na substancji doskonale przewodzącej...

4. Indukcja wzdłuż linii krzywych.

W tym rozdziale autor stara się dowieść, że indukcyja elektryczna rozchodzi się wzdłuż linii krzywych, które nazywa liniami

indukcyi; linie indukcyi łączą nabój indukujący z odwrotnym co do znaku nabojem indukowanym. W tym celu badał pole elektryczne, wytworzone przez naelektryzowaną laskę szellakową, zapomocą kuli opisanego elektrometru (wagi skręceń); kulkę tę, umieszczoną w badanym punkcie pola, odprowadzał do ziemi przez dotknięcie i badał nabój elektryczny, jaki otrzymała. Okazało się, że kulka była naelektryzowana nawet wtedy, gdy pomiędzy nią i szlakiem znajdował się przedmiot metalowy, odprowadzony do ziemi; ponieważ każda prosta, łącząca kulkę z którymkolwiek punktem naelektryzowanego szellaku, przechodzi przez metal, przeto, wnioskuje Faraday, indukcyja rozchodzi się nie wzdłuż linii prostych, lecz wzdłuż krzywych, okrążających masę metalu. Albowiem metal nie przepuszcza linii indukcyi, jak tego dowodzi fakt, że, jeśli laskę szellakową zasłonić krążkiem metalowym c (fig. 22), to w punkcie f kulka nie elektryzuje się wcale, choć otrzymuje nabój, gdy ją umieścić w g lub h ; tutaj linie sił zostają zagięte na krawędzi krążka.

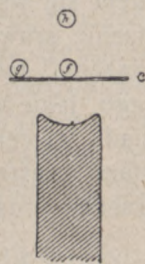


Fig. 22.

Te wyniki nie decydują ostatecznie na korzyść teorii Faradaya, gdyż dają się bez trudności wytłumaczyć na podstawie dawniejszej teorii działania na odległość wzdłuż linii prostych; należy tylko obok naboju, znajdującego się na powierzchni szellaku, uwzględnić naboje, indukowane na zbliżonych do niego przedmiotach metalowych. Kierunek linii siły jest kierunkiem siły wypadkowej z działań wszystkich tych naboji, nie może zatem mieć kierunku, stale zwróconego ku naboju pierwotnemu. Kształt linii indukcyi, podobnych zupełnie do linii indukcyi magnetycznej, Faraday tłumaczy zapomocą hipotezy, że ciągnięciu wzdłuż linii sił towarzyszy rozpieranie w kierunkach poprzecznych, powodujące wzajemne oddalanie i wyginanie tych linii; ta hipoteza stała się jedną z podstaw teorii Maxwella (ob. Maxwell: „Plan dzieła“).

1231... Działania te są to oczywiste działania indukcyi, wzbudzone nie przez elektryczność płynącą, lecz przez statyczną; ta indukcyja jest wywierana wzdłuż linii sił, które, choć mogą być prostymi przy niektórych doświadczeniach, tutaj są mniej lub więcej zakrzywione, zależnie od okoliczności. Używam tu wyrażenia linie siły indukcyjnej jedy-

nie jako czasowej, umownej nazwy kierunku linii indukcyjnych... Wszystko to zdaje mi się dowodzić, że całe działanie jest działaniem pomiędzy stykającymi się, związanymi z sobą cząsteczkami, nie tylko wzdłuż linii, wytworzonych przez nie, jak wolno przypuszczać, poprzez ośrodek izolujący pomiędzy powierzchniami indukującymi i indukowanymi,—ale także i w bocznych kierunkach. To właśnie powoduje, że działanie staje się niejako odpychaniem bocznem lub rozpięciem się wspomnianych linii sił i umożliwia indukcji obchodzenie krawędzi (1304). Ta siła nie jest podobna do siły ciężenia, łączącej cząstki liniami prostymi, niezależnie od tego, jakie cząstki mogłyby leżeć pomiędzy nimi, lecz posiada więcej analogii do szeregu igieł magnesowych lub do stanu cząsteczek, tworzących, jak się przypuszcza, masę magnesu—prostego czy wygiętego.

.....

5. Indukcja właściwa czyli zdolność indukcyjna właściwa ²⁶⁾.

1252. Przechodzę teraz do zbadania wielkiego zagadnienia zdolności indukcyjnej właściwej, mianowicie do zbadania, czy istotnie różne ciała dielektryczne wywierają wpływ na stopień odbywającej się naskroś nich indukcji. Gdyby tak było, uważałbym to nie tylko za okoliczność niezmiernie ważną dla szerszego zrozumienia praw i skutków indukcji, lecz i za nowy, a bardzo silny argument, przemawiający za wygłoszoną przeze mnie teorią, że wszystko to polega na działaniu cząsteczkowem, a nie na działaniu na odległości dostrzegalne.

Pytanie można postawić w ten sposób: przypuśćmy, że *A* jest płytą naelektryzowaną, zawieszoną w powietrzu, *B* i *C* są to dwie płyty zupełnie podobne, umieszczone bez izolowania po obu stronach *A* w odległościach jednakowych, równoległe do niej. *A* działa zatem indukująco z równą siłą na *B* i na *C*. Jeżeli teraz przy takim położeniu płyt wprowadzić pomiędzy *A* i *C* ośrodek dielektryczny inny niż powietrze, np. szellak, to czy indukcja pomiędzy nimi pozo-

stanie nadal taka sama? Czy stosunek C i B do A , pomimo włączonych pomiędzy nie materyi dielektrycznych, pozostanie niezmiennym?

1253. O ile sobie przypominam, przyjmuje się, że taka zmiana okoliczności nie wywołuje żadnych skutków i że stosunek B i C do A zależy całkowicie od ich odległości od A . Przypominam sobie jedno tylko wyjaśnienie doświadczalne tej sprawy, dane przez Coulomb'a mianowicie, który wykazuje, że drut otoczony szellakiem pobiera dokładnie tę samą ilość elektryczności z ciała nabitego, co drut, otoczony powietrzem. To doświadczenie nie było dla mnie dowodem słuszności przypuszczenia, gdyż należy badać i porównywać nie tylko warstwy substancyi dielektrycznych, stykające się z ciałem nabitem, lecz ich masę całkowitą, zawartą pomiędzy tem ciałem, a przewodnikami otaczającymi, na których kończy się indukcya...

1256. Najpierw porównywano szellak i powietrze.— W tym celu wstawiono w dolną półkulę jednego z przyrządów indukcyjnych (1188) grubą, półkulistą czarkę z szellaku tak, że prawie wypełniała dolną część przestrzeni oo (fig. 21). Następnie nabito i podzielono nabój w sposób opisany powyżej (1198), używając drugiego przyrządu do przyjęcia naboju początkowego... Ponieważ było wiadomo, że przyrządy, o ile obydwie zawierały powietrze, posiadały równe zdolności indukcyjne, więc każda różnica, powstała wskutek wprowadzenia szellaku, musiała wskazywać na jego wpływ szczególny, a, o ile dawała się sprowadzić do działania indukcyjnego właściwego,—musiała twierdząco rozstrzygnąć badaną sprawę...

1257. Półkulę z szellaku wstawiono do przyrządu I, a w przyrządzie II pozostawiono powietrze. Wyniki jednego z doświadczeń, w którym nabój przyrządu z powietrzem został udzielony przyrządowi, zawierającemu szellak, były następujące:

Przyrząd I, szellak.	Przyrząd II, powietrze. ²⁷⁾
O° — — — — — — — — —	
— — — — — — — — —	304°
— — — — — — — — —	297°

	Nabój podzielono										
113°	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	121°
0°	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	po rozbrojeniu
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7° tak samo.

1258. Tutaj można uważać $297^\circ - 7^\circ$ czyli 290° jako nabój przyrządu II, podlegający podziałowi (gdzie 7° jest działaniem stałym pręta szellakowego), czego połowa wynosi 145° . Przyrząd z szellakiem wykazał 113° jako siłę, czyli napięcie²⁸⁾, osiągnięte po podziale. Przyrząd II z powietrzem wykazał $121^\circ - 7^\circ$, czyli 114° , jako to, co zatrzymał z naboju 290° , podlegającego podziałowi. Te dwie liczby powinny być jednakowe i są też prawie takie, dalekie od przekroczenia granicy błędów obserwacji. Ale liczby te różnią się znacznie od 145° , czyli od siły, jakąby posiadała połowa naboju, gdyby przyrząd I zawierał był powietrze zamiast szellaku; jest rzeczą jasną, że, gdy wskutek podziału indukcyja poprzez powietrze straciła na sile 176° , indukcyja poprzez szellak zyskała zaledwie 113° .

1259. Jeśli przyjąć, że ta różnica zależy wyłącznie od większej łatwości, z jaką szellak w porównaniu z powietrzem przepuszcza, czy też sprawia rozchodzenie się indukcyi poprzez swą masę, to owe zdolności indukowania elektrycznego miałyby się odwrotnie, jak powyżej przytoczony zysk i strata, i o ile zdolność przyrządu z powietrzem przyjmiemy za jedność, to zdolność przyrządu z szellakiem byłaby $\frac{176}{113}$ czy 1,55.²⁹⁾

1260. Wartość tej nadzwyczajnej różnicy była tak nieoczekiwana, że musiała wzbudzić bardzo silne podejrzenia co do dokładności doświadczenia, choć rozbrojenie zupełne przyrządu I po podziale wskazywało, że owe 113° łatwo zostały pobrane i łatwo oddane. Było rzeczą jasną, że, o ileby różnica ta istniała rzeczywiście, to musiałaby wywołać odpowiednie działanie i w odwrotnym porządku, t. j. jeśli zamienić indukcyję poprzez szellak na indukcyję poprzez powietrze, to siła czyli napięcie całości musiałoby wzrosnąć.

Nabito zatem najpierw przyrząd I, a siłę jego podzielono z przyrządem II. Wyniki były następujące:

Przyrząd I, szellak.	Przyrząd II, powietrze.
— — — — — — — — — —	O ^o
215 ^o — — — — — — — — — —	
204 ^o — — — — — — — — — —	
Nabój podzielono:	
118 ^o — — — — — — — — — —	
— — — — — — — — — —	118 ^o
— — — — — — — — — —	O
O — — — — — — — — — —	po rozbrojeniu. tak samo.

1261. Tutaj największy nabój, podlegający podziałowi, musiał być 204^o. Przyrządy I i II dały 118^o jako swe siły, obie więc wynosiły więcej, niż połowa siły pierwotnej czyli 102^o, podczas gdy w wypadku poprzednim wynosiły mniej. Przyrząd I z szellakiem stracił tylko 86^o, a mimo to oddał 118^o przyrządowi II z powietrzem; szellak zatem przewyższa znacznie powietrze. Zdolność indukcyjna przyrządu I z szellakiem ma się do pojemności przyrządu II z powietrzem, jak 1,37 do 1.

Przyczyna różnic pomiędzy obu wynikami tkwi według autora w rozpraszaniu się naboju elektrycznego, widocznym z dwóch pierwszych liczb każdego pomiaru; skutek tego napięcie w pierwszym wypadku spadło silniej, a w drugim podniosło się mniej ponad połowę, niż gdyby nabój pozostał nieuszczerpionym. Po obliczeniu poprawek znaleziono wartości: 1,50 i 1,47. Druga serya doświadczeń po tych samych poprawkach dała: 1,55 i 1,49.

1266. Te cztery wartości dla zdolności indukcyjnej przyrządu: 1,47; 1,50; 1,55; 1,49, choć otrzymane z odmiennych doświadczeń, są bardzo bliskie siebie. Średnia z nich zbliża się bardzo do 1,50, która to liczba będzie mogła być zatem wzięta dla wyrażenia wyniku...

1169. Z wykonanych przezemnie doświadczeń i z ich niezmiennych wyników nie mogę wyprowadzić innego wniosku, jak ten, że szellak posiada zdolność indukcyjną

właściwą. Staralem się kontrolować doświadczenia wszelkimi sposobami i jeśli nie usunąć, to przynajmniej ocenić każde źródło błędów...

1270. Przypuśćmy, że poszukiwany fakt ogólny został dowiedziony, to jednak 1,5, choć wyraża zdolność przyrządu, zawierającego półkulę szellakową, nie jest bynajmniej wyrazem stosunku szellaku do powietrza; gdyż szellak zajmuje w przyrządzie tylko połowę przestrzeni *oo*, poprzez którą jest wywierana indukcja; reszta jest wypełniona powietrzem tak, jak i w drugim przyrządzie. Jeśli odjąć działanie obu półkul górnych, to jako stosunek sił w szellaku w dolnej połowie jednej kuli, do sił w powietrzu w dolnej połowie drugiej kuli wypadnie 2:1. A i to musi leżeć jeszcze poniżej wartości prawdziwej, gdyż indukcja górnej części przyrządu, t. j. drutu i kuli *B* (fig. 21), względem przewodników zewnętrznych musi być w obu przyrządach jednakowa i zmniejszać znacznie różnicę, zależną od szellaku wewnętrznego i rzeczywiście przezeń wywołaną.

Następują badania nad innymi izolatorami; dla szkła wypadła jako wynik ostateczny 1,76, dla siarki—2,24. Pomiary z terpentyną, naftą, dały wyniki niepewne, ale wskazujące prawdopodobną ich przewagę nad powietrzem. Przy napełnieniu przyrządu powietrzem zgęszczonem lub rozrzedzonem oraz różnymi gazami nie dało się dostrzedz żadnej wyraźnej różnicy. ³⁰⁾

1295. Istota indukcji zdaje się zatem polegać na działaniu cząstek sąsiednich, za pośrednictwem których siła elektryczna, rodząca się lub pojawiająca w jednym miejscu, przenosi się i podtrzymuje aż na pewną odległość, gdzie objawia się jako takąż siła, o takiej samej wartości, lecz o kierunku i dążeniach odwrotnych (1164). ³¹⁾ Indukcja nie wymaga znacznych grubości przewodników, użytych do ograniczenia jej rozciągłości...

1296. Zupełnie inna sprawa, gdy chodzi o ośrodki dielektryczne czyli izolujące (1167). Grubość ich ma wpływ bezpośredni i ważny na stopień indukcji...

1297. Indukcji, która działa, jak można przypuścić, wprost wzdłuż linii indukcji pomiędzy dwoma nabitemi i prze-

wodzącemi powierzchniami granicznemi, towarzyszy siła boczna czyli poprzeczna, równoważna rozpieraniu się lub odpychaniu linii reprezentacyjnych; mówiąc inaczej: sile przyciągania, działającej pomiędzy cząsteczkami di-elektryku w kierunku indukcji, towarzyszy siła odpychania lub rozbieżności w kierunku poprzecznym (1304).

1298. Indukcja polega, jak się zdaje, na pewnym stanie polaryzacji cząsteczek, w który wprowadza cząstki ciała naelektryzowane, wzbudzające działanie; w cząsteczkach powstają przytem punkty lub części dodatnie i ujemne, rozłożone symetrycznie względem siebie i względem powierzchni indukujących. Ten stan musi być stanem wymuszonym, gdyż powstaje i utrzymuje się tylko pod działaniem siły i powraca do stanu normalnego czyli do stanu spoczynku, gdy tylko siła zostanie usunięta... ³²).

1304. Nazw linii siły indukcyjnej i krzywych linii sił używałem tylko w znaczeniu ogólnem, tak zupełnie jak się mówi o liniach siły magnetycznej. Linie te są urojone, a siła w którejkolwiek ich części jest zatem wypadkową sił składowych, ponieważ każda cząsteczka jest związana z wszystkiemi innemi cząsteczkami we wszystkich kierunkach zapomocą napięć i oddziaływań cząsteczek przylegających. Siła poprzeczna jest tym samym związkiem, rozpatrywanym w kierunku ukośnym względem linii indukcji, i na razie nic więcej przez tę nazwę nie rozumiem. Co się tyczy nazwy polaryzacji, to rozumiem przez nią na razie też tylko taki rozkład siły, przez który jedna i ta sama cząsteczka otrzymuje władze odwrotne w różnych swych miejscach...

Na zakończenie przytaczamy ustęp, zaczerpnięty z książki Maxwell'a: *A Treatise on Electricity and Magnetism* (Cz. IV, Rozdz. III), zawierający piękną charakterystykę metody, jaką Faraday posługiwał się przy swych badaniach, oraz porównanie jej z metodą Ampère'a:

Odkrycie działania magnetycznego prądów elektrycznych przez Oersted'a doprowadziło poprzez szereg rozumowań bezpośrednich do odkrycia magnesowania zapomocą prądów elektrycznych i działania mechanicznego pomiędzy prądami elektrycznymi. Ale dopiero w r. 1831 Faraday, który już od pewnego czasu próbował wywoływać prądy elektryczne zapomocą działań elektrycznych lub magnetycznych, odkrył warunki, w jakich odbywa się indukcja magnetyczna. Metoda, którą posługiwał się Faraday w swych badaniach, polegała na ciągłym odwoływaniu się do doświadczenia, jako do środka sprawdzenia ścisłości pojęć, i na ciągłym rozwijaniu pojęć pod bezpośrednim wpływem doświadczenia. W ogłoszonych przez niego badaniach spotykamy się z jego poglądami, wyrażonemi językiem, który jest najwłaściwszy dla rodzącej się nauki, gdyż różni się nieco od stylu fizyków, przywykłych do ujmowania pojęć przekazanych w kształty matematyczne.

Badania doświadczalne, na których Ampère oparł prawa działania mechanicznego, jakie wywierają na siebie prądy elektryczne, stanowi jeden z najświetniejszych czynów naukowych.

Wydaje się, że ten zespół teorii i doświadczenia wytrysnął w pełnym rozwoju i w pełnej zbroi z mózgu „Newton'a elektryczności“. Forma jego jest doskonała, ścisłość bez zarzutu, a całość streszcza się w jednym wzorze, z którego można wyprowadzić wszystkie zjawiska i który musi nazawsze pozostać wzorem zasadniczym elektrodynamiki.

Ale metoda Ampère'a, chociaż przybrana w postać indukcji, nie pozwala nam śledzić tego kształtowania się pojęć, które nią kierowało. Trudno nam uwierzyć, aby Ampère odkrył prawo działania istotnie zapomocą doświad-

czeń, jakie opisuje. Zaczynamy podejrzewać, o czym sam zresztą mówi, że odkrył swe prawo, posługując się jakąś metodą, której nam nie pokazuje, a następnie, zbudowawszy dowód doskonały, zatarał wszelki ślad rusztowania, które służyło mu do wzniesienia go.

Tymczasem Faraday pokazuje nam wszystkie swe doświadczenia, udane i nieudane, pomysły swoje i w stanie surowym i w pełnym rozkwicie; a czytelnik, choćby był bez porównania niższy od niego pod względem zdolności indukcyjnych, odczuwa większą jeszcze sympatyę, niż podziw, i waży się mniemać, że i on dokonywałby odkryć, gdyby miał tylko do tego sposobność. Więc każdy student będzie musiał czytać badania Ampère'a jako wspaniały wzór stylu naukowego w opisywaniu odkrycia, ale będzie też musiał studyować Faraday'a, w celu kształcenia ducha naukowego przez działanie i przeciwdziałanie, jakie powstaną pomiędzy faktami świeżo odkrytymi, tak jak mu je Faraday przedstawi, a pomiędzy myślami, rodzącymi się w jego własnym umyśle.

Było to, być może, z korzyścią dla nauki, że Faraday, chociaż posiadał doskonałą znajomość pojęć zasadniczych czasu, przestrzeni i siły, nie był matematykiem z zawodu. Nie kusił się o zagłębianie w liczne i ciekawe dociekania matematyki czystej, jakieby mu podsuwały jego odkrycia, gdyby zostały ujęte w formy matematyczne, i nie czuł się powołanym do narzucania swym pomysłom kształtów, które odpowiadałyby gustowi matematycznemu epoki, ani do wyrażania ich w postaci, która pozwoliłaby matematykom na zajęcie się nimi. W ten sposób miał dość czasu na wykonanie swej własnej pracy osobistej, na uzgodnienie swych myśli z doświadczeniem i na wyrażenie ich językiem zwykłym i nie technicznym...

Przywykliśmy do uważania wszechświata za układ złożony z części, a matematycy rozpoczynają zazwyczaj od rozpatrywania cząsteczki odosobnionej, następnie ujmują stosunki jej do innej cząsteczki i tak dalej. Przypuszczano powszechnie, że to jest metoda najbardziej naturalna. Jednak rozwa-

żanie cząsteczki wymaga już abstrakcyi, ponieważ wszystkie nasze ujęcia odnoszą się do ciał rozciągłych; a zatem pojęcie *całości*, którą sobie uświadamiamy w danej chwili, może być zupełnie tak samo pierwotnem, jak pojęcie oddzielnego przedmiotu. Może więc istnieć metoda matematyczna w której postępowałoby się od całości do części, zamiast posuwać się od części do całości. Tak np. Euklides w swej Księdze Pierwszej uważa linię za tor punktu, powierzchnię za zakresloną przez linię, objętość za wytworzoną przez powierzchnię; ale określa także powierzchnię jako granicę objętości, linię jako brzeg powierzchni, punkt jako kraniec linii...

W badaniach nad elektrycznością możemy używać wzorów, zawierających odległości pewnych ciał i ich naboje lub prądy, które przez nie przepływają; albo też możemy używać wzorów, zawierających inne wielkości, z których każda jest ciągła w całej przestrzeni...

Metoda Faraday'a zdaje się być ściśle związana z tym drugim sposobem postępowania. Nie rozważa on nigdy ciał, jako takich, pomiędzy którymi nie byłoby nic poza odległością, i które działają nawzajem na siebie w zależności od jakiejś funkcji tej odległości. Uważa on przestrzeń za pole siły, w którym linie sił są naogół liniami krzywemi; linie wytworzone przez ciało rozchodzą się od niego we wszystkich kierunkach, a obecność innych ciał wpływa na zmianę ich kierunku. Mówi on nawet o liniach sił, jako o należących do pewnego ciała, jak gdyby stanowiły niejako część jego, tak że nie można powiedzieć, że ciało działając na inne ciało odległe, działa tam, gdzie go niema. Lecz to bynajmniej nie jest ideą zasadniczą u Faraday'a. Przypuszczam, iż powiedziałby raczej, że całe pole przestrzenne jest wypełnione liniami sił, których układ zależy od układu ciał, znajdujących się w tem polu; że działanie mechaniczne czy też elektryczne, wywierane na każde z tych ciał, jest określone przez te linie sił, które się na niem kończą.

UWAGI.

¹⁾ (Str. 107). W słownictwie współczesnem używa się na to wyrazu „influcyja“, wprowadzonego przez Priestley'a, lub „elektryzacja przez wpływ“. Termin „indukcyja“ jest używany częściej dla indukcji prądów.

²⁾ (Str. 107). Ob. str. 99.

³⁾ (Str. 108). Ob. str. 89.

⁴⁾ (Str. 109). W celu zmniejszenia oporu wewnętrznego ogniwa można umieszczać płytkę cynkową pomiędzy dwoma połączonymi z sobą płytkami miedzianymi; to właśnie uczynił Faraday.

⁵⁾ (Str. 109). Faraday, kierując się analogią do indukcji elektrycznej, spodziewał się istnienia prądów indukowanych przez cały czas trwania prądu w drucie indukującym; doświadczenie przekonało go o mylności tego przypuszczenia, a dalsze badania wykazały, kiedy powstają prądy indukowane.

⁶⁾ (Str. 109). Wyraz ten jest użyty w znaczeniu, nie mającem oczywiście nic wspólnego z tem, jakie mu dziś przypisujemy; autorowi chodziło prawdopodobnie o zobrazowanie przepływu elektryczności chwilowego, gwałtownego, istotnie podobnego do przepływającej fali, w przeciwstawieniu do prądu elektrycznego, ustawicznie jak strumień płynącego ze swego źródła.

⁷⁾ (Str. 111). Ogniwa były więc łączone równolegle, co, wobec małego oporu zewnętrznego (druty miedziane) pozwalało na osiągnięcie silnych prądów.

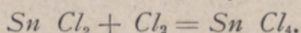
⁸⁾ (Str. 114). Zapomocą poprzecznej kreski albo zapomocą zabarwienia błękitnego odznacza się zwykle biegun północny magnesu; więc b.znaczony = północny; b. nieznaczony = południowy.

⁹⁾ (Str. 118). Istotnie: impuls, udzielony igle magnetycznej, jest proporcjonalny do siły prądu oraz do jego trwania, a więc proporcjonalny do ilości elektryczności, jaka przepłynęła przez zwoje galwanometru. Warunek ścisłości pomiaru polega na tem aby igła otrzymała całkowity impuls, zanim się oddali od położenia równo-

wagi; trwanie prądu musi być więc krótkiem w porównaniu z okresem wahanja igły. Ta wprowadzona przez Faradaya metoda mierzenia ilości elektryczności stosuje się dzisiaj w t. zw. galwanometrach balistycznych.

¹⁰⁾ (Str. 118). użytą w oryginale nazwę „elektrometr voltainiczny“ (Volta-elektrometer) zastąpiono zręczniejszą i powszechnie dziś przyjętą nazwą: „voltametr“.

¹¹⁾ (Str. 119). Zachodzi tu reakcja wtórna:



¹²⁾ (Str. 120). Gran = 64,8 miligrama; cal ang. sześcienny = 16,39 cm.³

¹³⁾ (Str. 120). Oczywiście ciężarem atomowym. Wyliczenie oparte jest na przyjętem wówczas przypuszczeniu, że w skład cząsteczki wody wchodzi jeden atom tlenu i jeden wodoru; w takim razie ciężar cząsteczkowy wody byłby istotnie 9, ciężar atomowy cyny 57,9. W myśl poglądów współczesnych, opartych na zasadzie Avogadry, wzór wody jest $H_2 O$, więc wszystkie ciężary atomowe i cząsteczkowe w dziełach Faradaya i chemików ówczesnych należy podwoić (woda 18, cyna 115,8). W podręcznikach dzisiejszych jako c. a. cyny jest podawana liczba 119.

¹⁴⁾ (Str. 122). Prawo to orzeka, że ciała, przewodzące w stanie ciekłym, po stężeniu tracą własności przewodnictwa. W takich ciałach rozkład i przewodnictwo są nierozzerwalnie z sobą związane i występują tylko w stanie ciekłym. Dziś wiemy, że jest to związane z dysocjacją cząsteczek tych ciał na jony, która wyraźnie występuje tylko w stanie ciekłym.

¹⁵⁾ (Str. 123). Równoważniki elektrochemiczne pierwiastków określamy dziś jako ilorazy ciężarów atomowych przez wartościowości.

¹⁶⁾ (Str. 123). Faraday powraca do zagadnień indukcji elektrycznej, którą dziś, w celu wyróżnienia od indukcji prądów, często nazywamy influencją lub elektryzowaniem przez wpływ. Faraday uważał oba zjawiska za blisko z sobą spokrewnione (ob. № 1 i 1162), zachowuje więc dla obu jedną i tę samą nazwę.

¹⁷⁾ (Str. 123). Trudno o trafniejszą charakterystykę umysłowości Faradaya, jak ten, przez niego samego skreślony obraz idealnego badacza.

¹⁸⁾ (Str. 123). Z liczego szeregu uczonych, jacy pracowali w tym okresie nad zjawiskami elektryczności, wymienimy tylko

kilku najwybitniejszych: Coulomb, Cavendish, Oersted, Ampère, Biot, Poisson, Davy, Ritter, de la Rive.

¹⁹⁾ (Str. 124). „Sądząc wyłącznie na podstawie faktów, nie ma najmniejszego powodu do uważania tego, co nazywamy prądem w metalach, ciałach stopionych, w płomieniach i rozrzedzonych ośrodkach sprężystych (gazach) za sprawę złożoną lub skomplikowaną. Nie rozłożono tego nigdy na rzeczy proste lub elementarne, i najlepiej może rozpatrywać to jako oś siły, wywierającej w kierunkach odwrotnych działania równej mocy, lecz odwrotne“. Serya V (517).

²⁰⁾ (Str. 124). Aby uniknąć nieporozumień, należy zauważyć, że Faraday w ciągu całej tej rozprawy używa wyrazu „indukcyja“ w znaczeniu znacznie szerszem, niż mu się zazwyczaj nadaje. Jeśli gdziekolwiek pojawia się nabój elektryczny to, według poglądów Faradaya, którym daje wyraz w tej właśnie seryi swych „Badań“, wzbudza on najpierw stan szczególny (polaryzację) w otaczającym go izolatorze (ob. niżej), a dopiero jako działanie izolatora na zanurzony weń inny przewodnik występuje naelektryzowanie tego przewodnika, czyli to, co nazywamy zwykle indukcyją. Oba naboje: wzbudzający i wzbudzony, można uważać za dwa krańce spolaryzowanej części dielektryku, to też wszędzie, gdzie daje się wysledzić coś podobnego, t. j. gdzie dwa naboje o znakach przeciwnych oddzielone są od siebie warstwą izolatora w stanie spolaryzowanym, tam Faraday stosuje termin „indukcyja“. Ponieważ zaś, co sam autor podnosi z naciskiem, naboje dodatni i ujemny powstają jednocześnie i w równej ilości (co możemy wyrazić, mówiąc, że każdemu istniejącemu nabojowi dodatniemu odpowiada równy mu nabój ujemny), ponieważ nadto naboje te, o ile nie mają się z sobą połączyć, muszą być oddzielone przestrzenią izolującą, przeto indukcyja w znaczeniu Faradaya jest istotnie zjawiskiem powszechnem i towarzyszy każdemu procesowi elektrycznemu, a naboje „bezwzględne“ t. j. pozbawione odpowiadających im naboju przeciwnego znaku—nie istnieją (ob. № 1168 i 1171). Terminu: siła elektryczna używa Faraday najczęściej w znaczeniu naboju elektrycznego.

²¹⁾ (Str. 124). Faraday uważał czystą wodę za elektrolit, ulegający rozkładowi pod wpływem prądu; dziś uważamy rozkład wody za zjawisko wtórne, towarzyszące elektrolizie obcych przymieszek, np. kwasów lub soli; to jednak w niczem nie zmienia istoty przepięknego rozumowania Faradaya.

²²⁾ (Str. 126). Ob. str. 101.

²³⁾ (Str. 126). Ob. st. 131.

²⁴⁾ (Str. 126). Następujące wyjątki z dziennika pracownianego Faradaya lepiej wyjaśnią to nieco ciemne zdanie:

„Elektryczność zdaje się polegać na biegunowości w powietrzu, szkle, elektrolitach i t. d.“...

„Stan płyty szklanej (pomiędzy naelektryzowanymi okładkami z metalu) jest taki sam, jak stan magnesu, i gdyby ją rozerwać lub rozbić, wytworzyłyby nowe powierzchnie P(ozytywną) i N(egatywną), co dotąd jeszcze nie zostało stwierdzone.“ Sprawdził to później Mateucci. (S. P. Thompson „M. Faraday's Leben und Wirken“ str. 120 i 121).

²⁵⁾ (Str. 127). Przytaczamy tu uwagi Tyndall'a, zaczerpnięte z książki jego o Faraday'u: „Pisma Faradaya o indukcji i przewodnictwie nie zawsze posiadają jasne znaczenie... Mówi on wciąż np. o niemożliwości nabicia ciała jedną elektrycznością, choć okazuje się, iż ta niemożliwość nie jest bynajmniej dowiedziona. Klucz do rozwiązania tej trudności jest następujący: widzi on w każdym przewodniku odosobnionym okładkę wewnętrzną butelki lejdejskiej. Kula, izolowana w środku pokoju jest dla niego takim przyrządem; ściany tworzą okładkę zewnętrzną, a powietrze między nimi jest izolatorem, poprzez który działa nabój za pośrednictwem indukcji. Bez tego oddziaływania ścian na kulę nie możnaby jej, zdaniem Faradaya, nabić elektrycznością, podobnie jak nie można tego uczynić z butelką lejdejską, której odjęto okładkę wewnętrzną. Odległość jest dla niego bez znaczenia. Jego zdolność uogólniania pozwala na obchodzenie się bez pojęcia „wielkości“; i choćby rozbić ściany pokoju, chociażby zniweczyć samą ziemię, to jeszcze słońce i planety uznałby on za okładki zewnętrzne swojej butelki.“ Ob. też uw. 20.

²⁶⁾ (Str. 132). Dziś nazywana stałą dielektryczną. Pierwszą obserwacją, dotyczącą tego przedmiotu, była zauważona przez Cavendish'a (r. 1773) zależność naboju dwóch płytek metalowych od ciała, zawartego pomiędzy nimi, przy danej różnicy potencjałów; uczony ten obliczał nawet stosunek, który dziś nazywamy stałą dielektryczną i znalazł około 8 dla szkła, a około $4\frac{1}{2}$ dla szellaku. Faraday nie znał tych doświadczeń swego ziomka (ob. № 1253), które zostały ogłoszone dopiero przez Maxwell'a.

²⁷⁾ (Str. 133). Szczegółowe znaczenie liczb, przytoczonych w tym paragrafie, jest następujące: Najpierw nabito kulę nieruchomą

wagi skręceń przez zetknięcie z butelką lejdejską; po zetknięciu tej kulki z kulką ruchomą ostatnia została odepchnięta i trzeba było skrócić nić zawieszenia o 255° , aby jej odchylenie zredukować do 30° , stale używanych w tym pomiarze przez autora. Teraz nabitó przyrząd II i kulkę nieruchomą wagi skręceń zetknięto z kulką B tego przyrządu; po wstawieniu do wagi należało skrócić nić o 304° , aby kulkę ruchomą doprowadzić do poprzedniego położenia (30° odchylenia); więc liczba 304° jest miarą naelektryzowania przyrządu II; ten sam pomiar, powtórzony po chwili dał już tylko 297° , co wskazuje na powolne zmniejszanie się naboju, spowodowane rozpraszaniem elektryczności. Przez ten czas przyrząd I pozostawał rozbrojony i zetknięta z nim kulka elektrometru nie odpychała kulki ruchomej; przeto stan jego charakteryzuje się liczbą 0° . Następnie kulki B obu przyrządów połączono i w ten sposób doprowadzono je do jednego i tego samego potencjału. Przyrząd I, zbadany kulką elektrometru, daje 113° , przyrząd II — 121° . Po rozbrojeniu obu przyrządów, I okazał się nienaelektryzowanym zupełnie (0°), przy zetknięciu z II kulka elektryzowała się nieco (7°), dzięki działaniu naboju, które w czasie wykonywania doświadczenia przeniknęły wgłąb pręta szellakowego l .

²⁸⁾ (Str. 134). Jedną z największych trudności przy czytaniu prac dawnych autorów nastęcza chwiejność w używaniu terminów, spowodowana bądź to nieustaloną jeszcze terminologią, bądź nie dość ściśłem odróżnianiem samych, kształtujących się dopiero pojęć. Tu np. mówi się to o mierzeniu naboju przyrządu indukcyjnego, to znów o mierzeniu sił, albo napięć. Słuszne jest to ostatnie wyrażenie, gdyż nabój, jaki otrzymuje kulka elektrometru jest proporcjonalny do potencjału, do jakiego ją doprowadzają naboje wszystkich ciał otaczających; ale potencjał ten musi być równy potencjałowi wewnętrznej kuli przyrządu indukcyjnego, z którym kulka elektrometru zostaje połączona przez zetknięcie z kulką B , przytem pojemność kulki elektrometru jest tak mała w porównaniu z pojemnością całego przyrządu, że pobrany przez nią nabój elektryczny nie wpływa w sposób widoczny na rozkład elektryczności w przyrządzie, a więc nie powoduje zmiany potencjału kuli h .

²⁹⁾ (Str. 134). Faraday w pracach swoich nie posługiwał się wcale wzorami matematycznymi, zastępując je bystrem i ściśłem rozumowaniem, co nieraz utrudnia zrozumienie tekstu. Poniżej po-

dajemy obliczenie, wykazujące, że poszukiwana przez Faraday'a wielkość jest istotnie stałą dielektryczną.

Jeśli przez e oznaczymy nabój całkowity przyrządu II z powietrzem, przez C jego pojemność, a przez V_0 napięcie, wymierzone zapomocą elektrometru, to $e = C \cdot V_0$

Jeśli stosunek pojemności obu przyrządów oznaczymy literą K , to pojemność przyrządu I będzie KC ; po połączeniu oba przyrządy przybiorą jeden i ten sam potencjał V ; nabój e podzieli się pomiędzy oba, a ponieważ wspólna ich pojemność będzie $C + KC = C(K + 1)$, więc dla e mamy dwie wartości:

$$e = CV_0 = C(K + 1)V$$

Skąd
$$K = \frac{V_0 - V}{V}$$

Faraday oblicza istotnie tę wielkość, gdyż bierze:

$$V_0 - V = 290^\circ - 114^\circ = 176^\circ \quad \text{a} \quad V = 113^\circ$$

O ile nabój całkowity zostanie udzielony przyrządowi z szelakiem, to otrzymamy wzór analogiczny:

$$K = \frac{V}{V_0 - V}$$

odpowiadający rozumowaniu Faraday'a w dalszym tekście.

³⁰⁾ (Str. 136). Wyniki pomiarów są wszystkie mniejsze od wartości, znalezionych metodami ulepszonemi; tak np. dla szelaku znaleziono 3, dla szkła około 6, dla siarki 3, dla terpentyny i nafty po 2,2. Czem gorszy izolator, tem pomiar jest trudniejszy i mniej pewny, to też siarka, najlepiej izolująca ze wszystkich użytych materyałów, dała wyniki najbliższe rzeczywistości. Rozmaite gazy, badane najpierw przez Boltzmann'a, mają stałe dielektryczne rozmaite, ale różniące się od stałej powietrza rzadko więcej, niż o 0,001; stałe gazów okazały się proporcjonalne do gęstości. (ob. Maxwell, uw. 17).

³¹⁾ (Str. 136). Natężenie pola elektrycznego (ob. Maxwell, uw. 1) nie zmienia oczywiście kierunku przy przenoszeniu za pośrednictwem cząsteczek izolatora. Ale linia indukcji przebiega zawsze pomiędzy nabojami o znakach przeciwnych (ob. Witkowski, Zasady fizyki, tom III str. 107); więc kierunki sił, działających na końcach jednej i tej samej linii, są odwrotne względem siebie.

³²⁾ (Str. 137). O teoryach polaryzacji ob. Maxwell, „Plan dzieła“ i uw. 3.

JAMES CLERK MAXWELL *).

(1831 — 1879).

Urodzony 13 czerwca 1831 r., był potomkiem starej, zamożnej rodziny ziemian szkockich. Był synem John'a Clerk Maxwell'a, człowieka o charakterze szlachebnym i niezależnym, obdarzonego niepospolitą i samodzielną inteligencją, umysłem żywym i wszechstronnym. Pod jego okiem, w wiejskiej siedzibie, w atmosferze wysokiej kultury umysłowej wychowywał się młody James. Ojciec, wykształcony wielostronnie, interesujący się rozmaitemi dziedzinami twórczości ludzkiej, niezależny w sądach i postępkach aż do ekscentryczności, miał silny wpływ na syna, który zawsze obdarzał go nie tylko gorącą miłością synowską, ale także przyjaźnią i zaufaniem. „Najwięcej w życiu, jeśli nie wszystko“, mówił „zawdzięczamy rodzicom“. Gdy miał lat 10, oddano go do szkoły, czyli t. zw. akademii w Edynburgu. Wczesnie rozwijane zdolności wczesne też wydały owoce: mając lat zaledwie 14, Maxwell dokonał pierwszego odkrycia naukowego; kreśląc elipsy znanym sposobem zapomocą nitki i dwóch szpilek, wpadł na pomysł uogólnienia tego sposobu. Elipsa, jak wiadomo, posiada tę własność, że suma odległości każdego jej punktu od dwóch punktów stałych (ognisk) jest wielkością stałą. Zapomocą dowcipnej kombinacji nitek i szpilek Maxwell zaczął kreślić krzywe o większej ilości ognisk oraz takie, w których nie same odległości od ognisk, lecz ich wielokrotności mają sumę niezmienną. Znany matematyk, Forbes, który stwierdził, że otrzymane krzywe odpowiadają krzywym, znanym w matematyce pod nazwą owalów Descartes'a, i że podany przez Maxwell'a sposób ich kreślenia jest istotnie zupełnie nowy, przed-

*) Przy pisaniu życiorysu korzystaliśmy, między innymi, z odczytu p. J. J. Boguskiego. „Światło“, Warszawa, r. 1898/9 str., 267.

stawił pracę młodocianego badacza Towarzystwu Królewskiemu Nauk w Edynburgu.

Od r. 1843 do 1850, jako słuchacz uniwersytetu edynburskiego, Maxwell studjuje gorliwie fizykę i matematykę, pracując jednocześnie nad filozofią (Kanta i Hobbes'a), logiką i psychologią; kilka samodzielnych prac z matematyki i fizyki powstało w tym samym czasie.

Po trzyletnim pobycie na uniwersytecie w Cambridge i uzyskaniu stopni naukowych, wykładał fizykę i astronomię początkowo w jednej ze szkół (college) w Cambridge, następnie w uniwersytecie w Aberdeen, w końcu w King's College w Londynie. W tej epoce zaczął studiować szczegółowo pisma Faraday'a i pod ich wpływem pracować nad teorią elektryczności; rozprawy: „O liniach Faraday'a“, „O fizycznych liniach sił“ i „Teoria dynamiczna pola elektromagnetycznego“, ogłoszone od roku 1855 do 1864, zawierają już zawiązki poglądów, które później rozwinął świetnie w swem wielkiem dziele o elektryczności i magnetyzmie. W r. 1859 ogłosił rozprawę „O stałości równowagi pierścieni Saturna“, w której dowodził na podstawie obliczeń matematycznych, że pierścienie tego kształtu nie mogą być jednorodne, że zatem składają się prawdopodobnie z mnóstwa oddzielnych brył, jakby małych księżyców, krążących gromadnie około planety; bezpośrednie obserwacje astronomiczne zdają się potwierdzać w sposób niewątpliwy ten wniosek teoretyczny.

W roku 1868 Maxwell porzucił wszystkie zajęcia szkolne i, usunawszy się w zacisze wsi rodzinnej, oddał się tam niepodzielnie różnorodnym badaniom naukowym. Pracował więc nad teorią barw i widzenia barwnego, rozwijając i sprawdzając doświadczalnie teorię Young'a trzech barw zasadniczych; podczas odczytu, w którym zebrał wyniki swych dociekań, pokazał po raz pierwszy fotografię barwną, rzucając na ekran trzy zdjęcia w trzech barwach zasadniczych tak, że się pokrywały nawzajem. *) Zajmowały go także zagadnienia teorii ciepła, w szczególności kinetyczna teoria gazów, w której dokonał ważnych odkryć. **) Ale dzie-

*) Polski przekład streszczenia tego odczytu był pomieszczony w czasopiśmie „Światło“, które wychodziło pod redakcją J. J. Boguskiego. (Warszawa r. 1898/9 № 5 i 6).

**) Odczyt „O cząsteczkach ciał“ drukowany w czasopiśmie „Przyroda i przemysł“ w r. 1873.

łem jego życia, które daje mu tytuł do sławy wszechświatowej, są prace, poświęcone teorii zjawisk elektrycznych i magnetycznych; tę teorię ujął w formę ostateczną w wielkim swem dziele „O elektryczności i Magnetyzmie“, z którego wyjątki przytaczamy poniżej w tłumaczeniu. Zasadnicze pomysły tej teorii Maxwell poczerpnął z dzieł Faraday'a, ubierając je w szaty twierdzeń matematycznych.

Trudno sobie wyobrazić większy kontrast w sposobie zdobywania wiedzy i w metodzie badania niż ten, jaki istniał pomiędzy obu współtwórcami tej teorii. Faraday — samouk, wszystko zdobywający własną pracą, tej okoliczności zawdzięczał nowość i oryginalność swych pojęć; jednak brak przygotowania matematycznego często utrudniał mu ich rozwinięcie. Maxwell — znakomicie wyszkolony specjalista, o umyśle kultywowanym starannie, kierowany umiejętnie od lat najmłodszych, korzystając z pomocy najlepszych profesorów, posiadał gruntowną zajomość tego przez wieki wyrobionego narzędzia myślenia i porozumiewania się, jakim jest matematyka. Ci dwaj ludzie, pracując nad jednym i tem samym zagadnieniem, dopełniali się wzajemnie; co jeden stworzył genialną intuicją, karmioną przez niezwykle życie się z tajemnikami natury i uzasadnił znakomitami doświadczeniami, to drugi opracował w formie matematycznej i ściśle logicznej. Pomysły Faraday'a, dotyczące rozchodzenia się działań elektrycznych poprzez ośrodki izolujące, wskutek swej niejasności i oryginalności, nie były zupełnie zrozumiane i uwzględniane w rozwoju teorii naukowych; od czasu badań Maxwell'a stały się one dorobkiem ogólnym i zaczęły przenikać do szerokich kół specjalistów.

Analiza matematyczna pozwoliła Maxwell'owi wyciągnąć w sposób ścisły z założeń teorii takie wnioski, których istnienie Faraday mógł zaledwie niejasno przeczuwać. Takim wnioskiem było przepowiedzenie możliwości istnienia fal elektromagnetycznych, rozchodzących się z szybkością równą szybkości światła; fale te urzeczywistnił Hertz, a Marconi zastosował je do przesyłania sygnałów. Maxwell'owi należy się więc słusznie nazwa ojca duchowego telegrafii iskrowej.

Faraday już przeczuwał, że pomiędzy elektrycznością i światłem istnieje jakiś nader ścisły związek i że podłoże zjawisk świetlnych — eter — może być również podłożem działań elektrycznych. Maxwell nadał temu twierdzeniu kształty ściśle określone, uważając fale świetlne za szczególny wypadek fal elektromagne-

tycznych, których istnienie wypływało z jego teorii. Stworzona przez niego w ten sposób teoria elektromagnetyczna światła nie zbijała dawnej teorii falowej, lecz podsuwała inne zrozumienie zjawiska falowania: zamiast interpretacji mechanicznej wprowadzała elektryczną; tę rolę, jaką w teoriach klasycznych Fresnel'a i Young'a (patrz „Optyka“) odgrywały przesunięcia w eterze i szybkość ich zmian, Maxwell przypisał natężeniom pól: elektrycznego i magnetycznego. Teoria jego tłómaczyła więc wszystko to, co i teoria klasyczna, lecz nadto zdawała sprawę z szeregu zależności pomiędzy światłem a elektrycznością i magnetyzmem, których tamta wyjaśnić nie potrafiła.

Szkic, rzucony przez Maxwell'a, został następnie rozwinięty przez Helmholtz'a, Lorentz'a, Drude'go i innych, a elektromagnetyczna teoria światła jest dziś już uznawana powszechnie.

Swoje dzieło o elektryczności Maxwell wykończył a następnie przerobił do drugiego wydania (wyszło po jego śmierci) już w Cambridge, dokąd został powołany dla zajęcia świeżo utworzonej katedry fizyki doświadczalnej oraz dla kierowania pracownią fizyczną imienia Cavendish'a, zbudowaną według jego projektu i pod jego nadzorem. Na nowem stanowisku Maxwell rozwinął gorliwą działalność pedagogiczną, ale nie długo mogła się nim szczyścić stara uczelnia angielska, gdyż w r. 1879 zmarł po krótkiej chorobie, przeżywszy zaledwie 48 lat.

Maxwell, jak wielu znakomych uczonych ziomków jego, był jednocześnie świetnym popularyzatorem; oprócz szeregu odczytów publicznych i wykładów popularnych, jakie miał w Londynie dla robotników, pozostawił nam dwie książki—arcydzieła literatury popularnej, niedoścignione wzory głębokiego, jasnego i artystycznie pięknego ujęcia przedmiotu. Są to „Theory of Heat“ (Teoria ciepła) i „Matter and Motion“ (Materia i ruch), przełożona na język polski przez S. Dickstein'a.*)

Charakter miał mocny i szlachetny. „Najuprzejmiejszy z ludzi,“ mówi o nim fizyk angielski Tait, „choć zupełnie wolny od wszelkiego śladu zazdrości lub złej woli, przy nadarzonej sposobności dawał wyraz pogardzie dla tej pseudo-nauki, która u nieuków szuka poklasku, ucząc, że cały układ wszechświata daje się sprowadzić do przypadkowego następstwa bezprzyczynowych zdarzeń“.

*) Warszawa 1879.

Wyjątki z „Elektryczności i Magnetyzmu“. *)

A. Plan dzieła (o polaryzacji elektrycznej).

W dziele tem zamierzam przedstawić najpierw zwykłą teorię działań elektrycznych, która uważa je za zależne jedynie od ciał naelektryzowanych i ich położenia względem siebie i która nie bierze w rachubę zjawisk, jakie mogą zachodzić w ośrodkach pośredniczących...

Następnie zbadamy pewne twierdzenia ogólne, w których Green, Gauss i Thomson określili warunki rozwiązania zagadnień, dotyczących rozmieszczenia elektryczności...

W twierdzeniu Thomson'a energia całkowita układu wyraża się całą pewnej wielkości, obejmującą całkowitą przestrzeń, zawartą pomiędzy ciałami naelektryzowanymi, albo też inną całą, wziętą tylko dla powierzchni naelektryzowanych. Równości tych dwóch wyrażeń można nadać następującą interpretację fizyczną. Związek fizyczny pomiędzy ciałami naelektryzowanymi możemy pojmować albo jako wynik stanu, w którym się znajduje ośrodek pośredniczący, albo jako wynik działania bezpośredniego, wywieranego na odległość przez ciała naelektryzowane. Przyjmując drugi

*) A Treatise on Electricity and Magnetism, by James Clerk Maxwell M. A. 2 tomy. Wyd. 1-e 1873; Wyd. 3-e 1904.

z tych poglądów, możemy określić prawo działania, ale nie możemy posunąć się dalej w dociekaniu jego przyczyn. Jeśli natomiast przyjmiemy myśl działania poprzez ośrodek, musimy zbadać naturę tego działania w każdym punkcie ośrodka.

Z twierdzenia Thomson'a wynika, że, jeśli mamy upatrywać siedlisko energii elektrycznej w różnych częściach ośrodka dielektrycznego, to ilość energii, zawartej w każdej z cząstek ośrodka, musi zależeć od iloczynu kwadratu natężenia elektrycznego wypadkowego w danym punkcie przez współczynnik, zwany zdolnością indukcyjną właściwą ośrodka. ¹⁾

Jeśli na podstawie tej hipotezy obliczymy energię całkowitą, umiejscowioną w ośrodku, to znajdziemy, że jest ona równa energii, jaka, zgodnie z hipotezą działania bezpośredniego na odległość, jest wytworzona przez naelektryzowanie przewodników. Obie hipotezy rozpatrywane matematycznie, są więc równoważne.

Jeśli teraz przystąpimy do zbadania stanu mechanicznego ośrodka, przyjmąwszy hipotezę, że działanie mechaniczne, jakie istnieje pomiędzy ciałami naelektryzowanymi, jest wywierane poprzez i za pośrednictwem ośrodka, podobnie jak w dobrze znanych przykładach działania jednego ciała na drugie przy pomocy naprężonego sznura lub uciskanego pręta, — to dojdziemy do wniosku, że ośrodek znajduje się w stanie napięcia mechanicznego.

Istota tego napięcia polega, jak to wykazał Faraday, na ciągnienu w kierunku linii sił, połączonem z równem mu rozpieraniem we wszystkich kierunkach, prostopadłych do tych linii. ²⁾ Wielkość tych napięć jest proporcjonalna do energii naelektryzowania, przypadającej na jednostkę objętości, albo, innymi słowy, do iloczynu kwadratu natężenia elektrycznego wypadkowego przez zdolność indukcyjną właściwą ośrodka.

Istnieje jeden tylko rozkład napięć, zgodny zarówno z rzeczywistem działaniem mechanicznem ciał naelektryzowanych, jak i ze spostrzeganymi warunkami równowagi otaczającego je dielektryku ciekłego. Przypuszczałem więc, że

przypisanie tym napięciom istnienia rzeczywistego i zbadanie wniosków, jakie stąd wypływają, będzie postępowaniem naukowo usprawiedliwionem.

.....

Ustaliwszy te wyniki, jesteśmy przygotowani do dalszego kroku — do wytworzenia sobie poglądu na istotę polaryzacji dielektrycznej w ośrodku dielektrycznym.

Mówimy, że elementarna cząstka ciała jest spolaryzowana, gdy przybiera własności równe i przeciwne po stronach przeciwnych. Pojęcie polaryzacji wewnętrznej może być najlepiej studyowane na przykładzie magnesów stałych...

Polaryzacja elementarnej cząstki dielektryku jest stanem wymuszenia, w jaki ośrodek ten został wprowadzony przez działanie natężenia elektrycznego, który jednak ustępuje, gdy to natężenie znika. Można przypuszczać, że ów stan polega na tem, co moglibyśmy nazwać przesunięciem elektrycznym, wywołanem przez natężenie elektryczne. Gdy siła elektromotoryczna działa na ośrodek przewodzący, wywołuje w nim prąd; lecz gdy ośrodek jest nieprzewodzący czyli dielektryczny, elektryczność nie może (w sposób ciągły) płynąć przez ośrodek; jednakże ulega wewnątrz ośrodka przesunięciu w kierunku natężenia elektrycznego³⁾; rozległość tego przesunięcia zależy od wielkości natężenia elektrycznego tak, że, jeśli natężenie elektryczne zwiększa się lub zmniejsza, przesunięcie zwiększa się lub zmniejsza w tym samym stosunku.

Miarą wielkości przesunięcia jest ilość elektryczności, która przechodzi skroś jednostki powierzchni w czasie, w ciągu którego przesunięcie wzrasta od zera do najwyższej wartości; taką jest też więc miara polaryzacji elektrycznej...

Zmiany przesunięcia elektrycznego tworzą, jak widzimy, prądy elektryczne. Te prądy mogą jednak istnieć tylko podczas zmian przesunięcia, a ponieważ przesunięcie nie

może przekroczyć pewnej wartości, nie wywołując rozbrojenia przez iskrę, przeto prądy te nie mogą trwać w jednym kierunku nieograniczenie długo, jak to czynią prądy w przewodnikach.

.....

Jeśli nabój e rozłożyć jednostajnie na powierzchni kuli, to natężenie wypadkowe w dowolnym punkcie ośrodka, otaczającego kulę, jest proporcjonalne do naboju e , podzielonego przez kwadrat odległości od środka kuli. Zgodnie z naszą teorią, natężeniu temu towarzyszy przesunięcie elektryczności w kierunku, zwróconym od kuli.

Zakreślmy teraz powierzchnię kulistą spółśrodkową o promieniu r ; przesunięcie całkowite E poprzez tę powierzchnię będzie proporcjonalne do natężenia wypadkowego, pomnożonego przez pole powierzchni kulistej. Ale natężenie elektryczne jest proporcjonalne do naboju e i odwrotnie proporcjonalne do kwadratu promienia, natomiast powierzchnia jest do kwadratu promienia wprost proporcjonalna.

Zatem przesunięcie całkowite E jest proporcjonalne do naboju e i niezależne od promienia.

Aby znaleźć stosunek naboju e do ilości elektryczności E , przesuniętej na zewnątrz poprzez którąkolwiek z powierzchni kulistych, rozważmy, jaka praca zostanie wykonana na ośrodku w warstwie, zawartej pomiędzy dwoma powierzchniami spółśrodkowymi, w czasie zwiększania się przesunięcia od E do $E + \delta E$. Jeśli V_1 i V_2 oznaczają odpowiednio potencjały powierzchni wewnętrznej i zewnętrznej, to natężenie elektryczne, sprawiające przesunięcie dodatkowe, będzie $V_1 - V_2$, zatem praca, wyłożona na zwiększenie przesunięcia będzie $(V_1 - V_2) \delta E$.

Jeśli teraz doprowadzimy wewnętrzną powierzchnię kulistą do zetknięcia się z kulą naelektryzowaną, a promień powierzchni zewnętrznej będziemy zwiększali do nieskończoności, V_1 stanie się równem V , t. j. potencjałowi kuli,

a V_2 stanie się równem zeru, tak, że całkowita praca, wykonana na ośrodku otaczającym, będzie wynosiła $V\delta E$.

Ale, według teorii zwykłej, praca, potrzebna do zwiększenia naboju, równa się $V\delta e$, a jeśli, jak przypuszczamy, ta praca zostaje obrócona na zwiększenie przesunięcia, to $\delta E = \delta e$, a ponieważ E i e stają się zerem jednocześnie, więc $E=e$, czyli, że

Przesunięcie elektryczne poprzez jakąkolwiek powierzchnię kulistą, spółośrodkową z kulą naelektryzowaną, liczone od wewnątrz ku zewnątrz, równa się nabożowi tej kuli.

W celu ustalenia naszych poglądów na przesunięcie elektryczne, rozpatrzmy kondensator, złożony z dwóch płyt przewodzących A i B , oddzielonych warstwą dielektryku C . Oznaczmy przez W drut przewodzący, łączący A z B i przypuśćmy, że dzięki działaniu siły elektromotorycznej pewna ilość elektryczności dodatniej Q zostaje przeniesiona z B do A . Naelektryzowanie dodatnie płyty A i ujemne płyty B wywoła w warstwie dielektryku natężenie elektryczne, skierowane od A do B , a to natężenie sprawi przesunięcie elektryczne od A ku B w łonie dielektryku. Wielkość tego przesunięcia, mierzona ilością elektryczności, przepędzonej poprzez przekrój pomyślany dielektryku, dzielący go na dwie warstwy, będzie, zgodnie z naszą teorią, ściśle równa ilości Q ...

Widzimy więc, że w tym samym czasie, w którym pewna ilość elektryczności zostaje przez siłę elektromotoryczną przeniesiona wzdłuż drutu od B do A , przepływając przez każdy przekrój drutu, taka sama ilość elektryczności przechodzi przez każdy przekrój dielektryku od A ku B wskutek przesunięcia elektrycznego.

Odwrotny ruch elektryczności odbywa się podczas rozbrojenia kondensatora. W drucie rozbraja się ilość Q w kierunku od A do B , w dielektryku przesunięcie zanika i elektryczność w ilości Q przechodzi przez wszystkie przekroje w kierunku od B ku A .

Zatem elektryzowanie i rozbrajanie może być w każdym wypadku uważane za ruch po obwodzie zamkniętym tak, że przez każdy jego przekrój przepływa w tym samym czasie ta sama ilość elektryczności; a stosuje się to nie tylko do obwodu voltaicznego, dla którego zawsze to uznawano, ale i do tych wypadków, w których, jak przypuszczano ogólnie, elektryczność gromadzi się w pewnych punktach. ⁴⁾

Doszliśmy więc do wniosku bardzo osobliwego, który wynika z rozpatrywanej teorii, a mianowicie, że ruchy elektryczności są podobne do ruchów płynu *nieściśliwego*, tak, że ilość całkowita, zawarta wewnątrz urojonej powierzchni, określonej i zamkniętej, pozostaje zawsze ta sama. Na pierwszy rzut oka wynik ten jest w jawnej sprzeczności z faktem, że możemy naelektryzować przewodnik i wprowadzić go do przestrzeni zamkniętej, zwiększając w ten sposób ilość elektryczności w tej przestrzeni. Lecz nie zapominajmy o tem, że zwykła teoria nie bierze w rachubę przesunięć elektrycznych w dielektrykach, co właśnie stanowiło przedmiot naszych rozważań; zwraca ona uwagę wyłącznie na elektryzację powierzchni granicznych pomiędzy przewodnikami a dielektrykami. Przypuśćmy, że przewodnik został naelektryzowany elektrycznością dodatnią; wówczas, jeśli dielektryk otaczający sięga we wszystkich kierunkach powierzchni zamkniętej, występuje polaryzacja elektryczna wraz z towarzyszącą jej przesunięciem od wewnątrz ku zewnątrz wzdłuż całej powierzchni zamkniętej; cała powierzchniowa z przesunięcia, wzięta dla całej powierzchni, będzie zatem równa nabożowi przewodnika, znajdującego się wewnątrz powierzchni.

Jeśli więc wprowadzić przewodnik naelektryzowany do przestrzeni zamkniętej, powstanie tam natychmiast przesunięcie ilości elektryczności, równej nabożowi, poprzez powierzchnię od wewnątrz ku zewnątrz, i całkowita ilość elektryczności wewnątrz powierzchni pozostanie bez zmiany.

B. Porównanie jednostek elektrostatycznych i elektromagnetycznych.

Określenie liczby jednostek elektrostatycznych elektryczności, zawartych w jednostce elektromagnetycznej.

768) Wielkości bezwzględne jednostek w obu układach zależą od przyjętych jednostek długości, czasu i masy, a rodzaj tej zależności jest różny w obu układach tak, że stosunek jednostek elektrycznych będzie się wyrażał różnymi liczbami, gdy będziemy przyjmowali różne jednostki długości i czasu.

Z tablicy wymiarów wynika, że ilość jednostek elektrostatycznych elektryczności, zawartych w jednostce elektromagnetycznej zmienia się odwrotnie proporcjonalnie do wielkości przyjętej jednostki długości, a wprost proporcjonalnie do wielkości przyjętej czasu. ⁵⁾

Jeśli więc wyznaczymy szybkość, którą wyraża ta liczba, to, gdybyśmy nawet przyjęli nowe jednostki długości i czasu, liczba, wyrażająca tę prędkość, będzie zawsze liczbą jednostek elektrostatycznych elektryczności, zawartych w jednostce elektromagnetycznej, wymierzonych na podstawie nowego układu miar.

Zatem prędkość ta, wskazująca na związek pomiędzy zjawiskami elektrostatycznymi i elektromagnetycznymi, jest wielkością przyrodzoną o wartości określonej, a pomiar jej jest jednym z najdonioślejszych przedmiotów badania w dziedzinie elektryczności...

Chcąc nadać tej szybkości znaczenie fizyczne, Maxwell rozpatuje dwie powierzchnie równoległe naelektryzowane, poruszające się z pewną szybkością we własnych płaszczyznach. Naboje ich odpychają się, a prądy, jakie tworzą poruszające się naboje elektryczne, przyciągają się nawzajem. Prosty rachunek wskazuje, że oba te działania znoszą się, jeśli szybkość ruchu płaszczyzn jest równa stosunkowi jednostek elektrycznych.

770) Gdyby gęstość powierzchniowa naboju i szybkość mogły być tak wielkimi, że siła magnetyczna stałaby się wielkością dostrzegalną, moglibyśmy przynajmniej sprawdzić nasze przypuszczenie, że ciało naelektryzowane w ruchu jest równoważne prądowi elektrycznemu.

Rachunek liczbowy dowodzi, że jest to rzeczą zupełnie możliwą. ⁶⁾

I. Porównanie jednostek elektrycznych.

771) Ponieważ stosunek jednostki elektromagnetycznej elektryczności do jednostki elektrostatycznej wyraża się przez szybkość, będziemy na przyszłość używali do jego oznaczenia symbolu v . Pierwszego liczbowego oznaczenia tej szybkości dokonali Weber i Kohlrausch. ⁷⁾

Metoda ich polegała na mierzeniu dwóch równych sobie ilości elektryczności najpierw w jednostkach elektrostatycznych, następnie w elektromagnetycznych.

Mierzono ilość elektryczności, stanowiącą nabój butelki lejdejskiej. Jego miarą elektrostatyczną był iloczyn pojemności butelki przez różnicę potencjału okładek. Pojemność butelki określono, porównywując ją z pojemnością kuli, zawieszanej w otwartej przestrzeni, zdala od innych ciał. Pojemność takiej kuli w miarach elektrostatycznych wyraża się jej promieniem. W ten sposób można znaleźć pojemność butelki i wyrazić ją jako pewną długość.

Różnicę potencjału okładek butelki mierzono przez łączenie ich z elektrodami elektrometru, którego stałe były starannie określone; różnica potencjału była więc znana w miarach elektrostatycznych.

Mnożąc ją przez pojemność butelki, znajdowano nabój butelki, wyrażony w miarach elektrostatycznych.

Chcąc oznaczyć wartość naboju w miarach elektromagnetycznych, rozbrajano butelkę poprzez zwoje galwanometru. Działanie przechodzącego prądu udzielało magnesowi galwanometru pewnej prędkości kątowej. Magnes odchyłał się

więc aż do pewnego położenia, przy którym szybkość jego zostawała w zupełności wyczerpana przez przeciwdziałanie magnetyzmu ziemskiego.

Obserwując krańcowe odchylenie magnesu, możemy określić ilość rozbrojonej elektryczności w miarach elektromagnetycznych...⁸⁾

Wartość dla v znaleziona przez pp. Weber'a i Kohlrausch'a była: $v = 310740000$ metrów na sekundę...

II. „ v “ wyrażone jako opór.

772 Dwie inne metody określenia v prowadzą do wyrażenia wartości jego jako oporu danego przewodnika, który, w układzie miar elektromagnetycznym też wyraża się jako szybkość.

Przy tej formie doświadczenia, jaką mu nadał Sir Wiliam Thomson,⁹⁾ prąd stały przepływa przez drut o wielkim oporze. Siła elektromotoryczna, pędząca prąd poprzez drut, jest mierzona elektrostatycznie przez połączenie końców drutu z elektrodami elektrometru bezwzględного. Natężenie prądu w drucie mierzy się elektromagnetycznie przez odchylenie zwojów ruchomych elektrodynamometru, przez który prąd przepływa. Opór obwodu znany jest w miarach elektromagnetycznych przez porównanie z oporem wzorcowym lub z ohmem. Mnożąc natężenie prądu przez opór, otrzymujemy siłę elektromotoryczną w miarach elektromagnetycznych, a przez porównanie tej wartości z jej miarą elektrostatyczną otrzymujemy wartość dla v .

Ta metoda wymaga określenia dwóch sił jednocześnie, zapomocą elektrometru oraz elektrodynamometru, a wynik zawiera jedynie stosunek tych dwóch sił.

773) Inna metoda, oparta nie na mierzeniu tych sił oddzielnie, lecz na przeciwstawieniu ich sobie, została użyta przez autora tej książki. Końce zwoju o wielkim oporze łączą się z dwoma równoległymi tarczami, z których jedna jest ruchoma. Ta sama różnica potencjału, która wywołuje

prąd poprzez wielki opór, powoduje także przyciąganie się owych tarcz. Jednocześnie prąd elektryczny (w rzeczywistości w przewodzeniu doświadczona różny od prądu pierwotnego) płynie przez dwa zwoje, umieszczone na stronach odwrotnych: jeden — tarczy stałej, drugi — tarczy ruchomej. Prąd płynie w tych zwojach w kierunkach odwrotnych, tak że odpychają się one wzajemnie. Regulując odległość tarcz, można przyciąganie zrównoważyć dokładnie odpychaniem; jednocześnie drugi obserwator określa stosunek prądu pierwotnego do wtórnego zapomocą galwanometru różnicowego.

W tem doświadczeniu jedynym pomiarem, polegającym na porównaniu z materyalnym wzorcem, jest pomiar dużego oporu, który trzeba określić w miarach bezwzględnych, porównując go z ohmem. Inne pomiary wymagają tylko określenia stosunków, mogą być więc wyrażone w jednostkach dowolnych.

Wartość dla v , znaleziona metodą Thomson'a wynosi 28,2 oma; znaleziona metodą Maxwell'a—28,8 oma. ¹⁰⁾

Dalej autor dowodzi możliwości innych jeszcze metod pomiaru v , opartych na mierzeniu pojemności w jednostkach elektromagnetycznych zapomocą prądów przemiennych, na porównywaniu pojemności z samoindukcją i na elektrostatycznym pomiarze oporu.

C. Teorya elektromagnetyczna światła.

W różnych miejscach tego dzieła podjęto próbę wytłómaczenia zjawisk elektromagnetycznych zapomocą działania mechanicznego, przenoszonego z jednego ciała na drugie za pośrednictwem ośrodka, wypełniającego przestrzeń pomiędzy niemi. Teorya falowa światła również przypuszcza istnienie pewnego ośrodka. Dowiedzimy teraz, że ośrodek elektromagnetyczny ma własności też same, co i ośrodek światłonośny.

Wypełnianie przestrzeni nowym ośrodkiem za każdym razem, kiedy trzeba wytłómaczyć nowe zjawisko, nie byłoby wcale postępowaniem filozoficznym; jeśli jednak badania dwu

różnych gałęzi wiedzy nasuwają niezależnie od siebie myśl istnienia ośrodka, i jeśli własności, jakie musimy przypisać temu ośrodkowi, aby wytłómaczyć zjawiska elektromagnetyczne są tego samego rodzaju, jak te, które musimy przypisać ośrodkowi świetlnemu, aby wytłómaczyć zjawiska światła, to dowody fizycznego istnienia takiego ośrodka zyskują poważnie na sile.

Ale własności ciał mogą być mierzone liczbowo. Otrzymujemy więc wartości liczbowe dla pewnych własności ośrodka, np. dla szybkości, z jaką rozchodzą się w nim zakłócenia; prędkość tę możemy obliczyć z doświadczeń elektromagnetycznych a także zmierzyć bezpośrednio w wypadku światła; gdyby się okazało, że szybkość rozchodzenia się zakłóceń elektromagnetycznych jest taka sama, jak szybkość światła i to nie tylko w powietrzu, ale i w innych ośrodkach przezroczystych, mielibyśmy poważne powody do mniemania, że światło jest zjawiskiem elektromagnetycznym, a łączne świadectwa, jakie dają zjawiska optyczne i elektryczne, przekonałyby nas o rzeczywistości ośrodka, podobnie jak o rzeczywistości innych rodzajów materii przekonują nas łączne świadectwa naszych zmysłów.

Ciało świecące wydatkuje podczas wysyłania światła pewną ilość energii, jeśli zaś światło zostaje pochłonięte przez inne ciało, to ciało ogrzewa się, co wskazuje, że otrzymało z zewnątrz energię. W czasie, jaki upływa pomiędzy chwilą opuszczenia pierwszego ciała a chwilą osiągnięcia drugiego, światło musiało istnieć jako energia w ośrodku pośredniczącym.

W świetle teorii emisyjnej ¹¹⁾ przesyłanie energii odbywa się na drodze rzeczywistego przenoszenia się cząstek światła od ciała świecącego do ciała oświetlonego; cząsteczki te unoszą z sobą energię ruchu, wraz z wszelkim innym rodzajem energii, której mogłyby być siedliskiem.

Teoria falowa przypuszcza, że istnieje ośrodek materialny, wypełniający przestrzeń pomiędzy dwoma ciałami, i że energia przenosi się, dzięki działaniu cząstek przyległych,

od jednej części do następnej, póki nie dosięgnie ciała oświetlonego.

W czasie przechodzenia światła ośrodek światłonośny jest zatem siedliskiem energii. Teorya falowa, jak ją rozwinięli Huygens, Fresnel, Young, Green¹²⁾ i in., przypuszcza, że energia ta jest częściowo potencjalną, a częściowo kinetyczną. Źródłem energii potencjalnej są odkształcenia cząstek elementarnych ośrodka; musimy więc uważać ośrodek za sprężysty. Źródłem energii kinetycznej są ruchy drgające ośrodka; musimy mu więc przypisać gęstość skończoną.

Teorya elektryczności i magnetyzmu, przyjęta w tem dziele, uznaje istnienie dwóch postaci energii: elektrostatycznej i elektrokinetycznej,¹³⁾ a siedlisko ich widzi nie tylko w ciałach naelektryzowanych lub namagnesowanych, lecz we wszystkich częściach przestrzeni otaczającej, w których daje się zauważyć działanie siły elektrycznej lub magnetycznej. Nasza teorya zgadza się zatem z teoryą falową, gdyż obie uznają istnienie ośrodka, który może być siedliskiem dwóch rodzajów energii. *)

Dalej następuje wyprowadzenie słynnych Maxwell'owskich równań pola elektromagnetycznego. Autor opiera się na dwóch zasadniczych prawach elektromagnetyzmu: na prawie indukcji i na prawie wytwarzania pól magnetycznych przez prądy; czyni przytem założenie, że przesunięcia elektryczne w dielektrykach lub w eterze wywierają takie same działanie magnetyczne, jak prądy zwykłe.¹⁴⁾ Równania, do jakich Maxwell dochodzi, mają kształt taki sam, jak równania, wyrażające rozchodzenie się za-

*) „Rozważając ze swej strony stosunek pomiędzy próżnią i siłą magnetyczną oraz charakter ogólny zjawisk magnetycznych poza obrębem magnesu, skłaniam się do mniemania, że w przenoszeniu siły biorą raczej udział działania, odbywające się poza obrębem magnesu, niż że zjawisko polega jedynie na przyciąganiu i odpychaniu na odległość. Takie działanie mogłoby być funkcją eteru, gdyż nie jest bynajmniej rzeczą prawdopodobną, aby eter, o ile istnieje, nie posiadał żadnej innej roli jak tylko przenoszenie promieniowania“. Faraday: *Badania doświadczalne*, 3075.

kłóceń mechanicznych w ośrodku sprężystym. Stąd wniosek, że w ośrodkach dielektrycznych zakłócenia elektryczne rozchodzą się z szybkością skończoną i że mogą się w nich rozchodzić fale elektromagnetyczne, analogiczne do fal mechanicznych w ośrodkach sprężystych; szybkość V , z jaką ruch ich się odbywa, jest równa $\frac{v}{\sqrt{\kappa\mu}}$, gdzie v oznacza stosunek jednostek elektrycznych, κ — stałą dielektryczną, μ — zdolność magnetyczną ośrodka. W próżni (a w przybliżeniu i w powietrzu) $\kappa = 1, \mu = 1$, skąd $V = v$.

Jeśli przyjmiemy teorię, że światło jest zakłóceniem elektromagnetycznym, rozchodzącym się w tym samym ośrodku, który przenosi inne działania elektromagnetyczne, to V powinno być szybkością światła; wartość tej wielkości mierzono różnemi metodami. Z drugiej strony v jest liczbą jednostek elektrostatycznych elektryczności, zawartych w jednostce elektromagnetycznej; w rozdziale poprzedzającym opisano metody mierzenia tej wielkości. Te metody są zupełnie niezależne od metod mierzenia szybkości światła. Zatem zgodność lub niezgodność wartości dla V i v będzie sprawdzianem słuszności teoryi elektromagnetycznej światła.

W przytoczonej tablicy są zestawione najważniejsze wyniki bezpośrednich obserwacji szybkości światła w powietrzu lub w przestrzeniach międzyplanetowych oraz najważniejsze wyniki porównywania jednostek elektrycznych:

Szybkość światła (met. na sek.).		Stosunek jednostek elektrycznych (met. na sek.).	
Fizeau	314000000	Weber	310740000
Aberacja i paralaksa słońca	308000000	Maxwell	288000000
Foucault	298360000	Thomson	282000000

Jest rzeczą oczywistą, że szybkość światła oraz stosunek jednostek są to wielkości tego samego rzędu; ale o żadnej z nich nie można do dnia dzisiejszego powiedzieć, aby była określona ze ścisłością, któraby pozwoliła na stwierdzenie, że jedna z nich jest większa lub mniejsza od

drugiej. Można się spodziewać, że dalsze doświadczenia określa z większą dokładnością wzajemny stosunek tych dwu wielkości. ¹⁵⁾

Tymczasem zaś porównanie posiadanych przez nas wyników bez wątpienia nie przeczy naszej teorii, która twierdzi, że dwie te wielkości są sobie równe oraz wskazuje na fizyczne podstawy tej równości.

788) W ośrodkach innych niż powietrze szybkość V jest odwrotnie proporcjonalna do pierwiastka kwadratowego z iloczynu ze zdolności indukcyjnej dielektrycznej przez zdolność indukcyjną magnetyczną. Zgodnie z teorią falową szybkość światła w różnych ośrodkach jest odwrotnie proporcjonalna do współczynnika załamania w tych ośrodkach.

Niema ośrodków przezroczystych, których zdolność magnetyczna różniłaby się od zdolności magnetycznej powietrza więcej, niż o bardzo drobny ułamek. Zatem główna część różnicy, jaka zachodzi pomiędzy temi ośrodkami, powinna zależeć od ich zdolności elektrycznych. A więc, według naszej teorii, zdolność dielektryczna ośrodka przezroczystego powinna się równać pierwiastkowi kwadratowemu ze współczynnika załamania w tym ośrodku. ¹⁶⁾

Ale współczynnik załamania ma wartości różne dla różnych rodzajów światła; jest mianowicie większy dla światła o szybszych drganiach. Powinniśmy więc wybrać współczynnik załamania, odpowiadający falam o okresie najdłuższym, gdyż tylko ruch tych fal można porównywać z procesami powolnymi, które nam służą do określania stałej dielektrycznej.

789) Jedynym dielektrykiem, którego stała dielektryczna została dotychczas określona z dostateczną dokładnością, jest parafina; pp. Gibson i Barclay znaleźli dla niej w stanie stałym:

$$\epsilon = 1,975.$$

D-r Gladstone znalazł dla parafiny roztopionej o gęstości 0,779 następujące współczynniki załamania dla linii A , D i H :

Temperatura	A	D	H
54° C	1,4306	1,4357	1,4499
57° C	1,4293	1,4343	1,4493

Skąd obliczam, że dla fal nieskończenie długich współczynnik załamania byłby około 1,422.

Pierwiastek kwadratowy z ϵ jest 1,405.

Różnica pomiędzy temi liczbami jest większa, niżby to można przypisać błędowi obserwacji, i wskazuje, że musimy jeszcze znacznie udoskonalić nasze teorie budowy ciał, zanim będziemy mogli wyprowadzać własności optyczne ciał z ich własności elektrycznych. Uważam zarazem zgodność tych liczb za taką, że, gdyby liczby, wyprowadzone z własności optycznych i elektrycznych znacznej ilości substancji, nie przedstawiały większych sprzeczności, to uprawniony byłby wniosek, że pierwiastek kwadratowy z ϵ , choć może nie wystarcza do całkowitego wyrażenia współczynnika załamania, stanowi jednak conajmniej część jego najważniejszą... ¹⁷⁾

* * *

W Maxwell'u spotykamy jeden z najpotężniejszych umysłów XIX wieku. Bujna wyobraźnia twórcza i zdolności kombinacyjne łączyły się u niego z potęgą myśli logicznej, ze ścisłością matematyka i zręcznością eksperymentatorską, doprowadzonymi do wysokiego stopnia doskonałości przez mądre i staranne wychowanie. Głębia myśli, śmiałość hipotez i styl żywy, jasny a ściśły stanowią o uroku jego dzieł.

Teoria Maxwell'a początkowo nie była dostatecznie oceniana,—szczególnie przez uczonych łądu stałego, przywiązanych do pojęć dawniejszych, stworzonych przez Coulomb'a i Ampère'a, ale wpływ jego dzieł rósł stopniowo, póki nie zapanał powszechnie. Ogrom pracy, potrzebny na przetrwanie całej niezmierzonej dziedziny zjawisk i względnie krótki czas, przez który danem było Maxwell'owi pracować nad swoją teorią, sprawiły, że nie jest ona jednolita i wykończona, uległa też później zmianom i uzupełnieniom; nawet zasadnicze założenie Maxwell'a — wyjaśnianie mechaniczne zjawisk elektrycznych zapomocą na-

pięć w eterze i ruchów płynu nieściśliwego — uległo krytyce i zostało odrzucone. Ale to, rzec można, było tylko szatą zewnętrzną jego teorii, pod którą kryło się właściwe jądro: idea rozchodzenia się działań elektrycznych i magnetycznych ze skończoną szybkością poprzez ośrodek dielektryczny, oraz twierdzenie o ścisłej zależności pomiędzy polem elektrycznym i magnetycznym nie tylko w ośrodkach materialnych, ale i w próżni. To był fundament, na którym wyrosły współczesne teorie elektryczności i światła.

Sposób tłumaczenia zjawisk elektrycznych, przyjęty przez Faraday'a i Maxwell'a, miał zastąpić dawną teorię działania na odległość. Na ogół obie teorie były równorzędne, gdyż były w stanie objaśnić, każda w swój sposób, jedne i te same zjawiska. Na jednym punkcie prowadziły jednak do odmiennych wniosków. Teoria Maxwell'a przewidywała istnienie fal elektromagnetycznych, rozchodzących się z szybkością skończoną, co przeczyło założeniom dawniejszej teorii, według której działania elektryczne rozchodzą się momentalnie. Na tym punkcie należało więc oczekiwać rozstrzygnięcia na korzyść jednej z nich; — dokonał tego Henryk Hertz.

Inna konsekwencja teorii, nieprzewidziana ze stanowiska Coulomb'a i Ampère'a — to działanie magnetyczne ciała naelektryzowanego będącego w ruchu (prądy konwekcyjne) i poruszającego się dielektryku (prądy dielektryczne); sprawdzenie tych wniosków związane jest z nazwiskami Henryka Rowland'a i W. C. Röntgen'a. W dalszym tekście podajemy wyjątki z prac Hertz'a, Rowland'a i Röntgen'a, które stanowią ostateczną doświadczalną teorię Maxwell'a.

U W A G I.

¹⁾ Str. 152). Czyli stałą dielektryczną. Natężenie elektryczne czyli natężenie pola elektrycznego w pewnym punkcie mierzy się stosunkiem siły, jakiej doznaje pomieszczony w tym miejscu nabój, do wielkości tego naboju. Ob. Witkowski, t. III, str. 97.

²⁾ (Str. 152). Patrz Faraday str. 131 i 137.

³⁾ (Str. 153). Pojęcie przesunięcia elektrycznego w teorii Maxwell'a jest dość nieokreślone i wielu komentatorów napróżnio starało się o zupełne jego wyjaśnienie. Wyniki ich rozbiły się o dwuznaczność, jakiej dopuszcza się Maxwell, używając wyrazu „elektryczność“. Oto, co pisze znakomity francuski matematyk, zmarły w tym roku Henryk Poincaré (*Electricité et Optique*. Paris 1901, rozdz. II). „Charakterystyczną cechą teorii Maxwell'a jest przeważająca rola, jaką w niej grają dielektryki. Maxwell przypuszcza, że materya dielektryków jest całkowicie zajęta przez płyn hypotetyczny, analogiczny do eteru, o którym w optyce przypuszczamy, że wypełnia ciała przezroczyste; nazywa on go *elektrycznością*... Ponieważ ta nazwa może wprowadzić do umysłu pożałowania godne zamieszanie, nazwiemy ten płyn hypotetyczny *plynem indukującym*, zachowując dla nazwy elektryczności jej zwykłe znaczenie.

Gdy wszystkie przewodniki, umieszczone w dielektryku są w stanie obojętnym, płyn indukujący jest w *równowadze normalnej*, Jeśli, przeciwnie, przewodniki są naelektryzowane... płyn indukujący przyjmuje nowy stan równowagi, który Maxwell nazywa *równowagą wymuszoną*.

Gdy cząsteczka płynu indukującego zostaje przesunięta ze swego położenia równowagi normalnej, Maxwell powiada, że zachodzi *przesunięcie elektryczne*“...

„Elektryczność“ oznacza więc u Maxwell'a zarówno nabój elektryczny, jak i to, co Poincaré nazywa „plynem indukującym“. Oba te płyny razem zachowują się, jak płyn nieściśliwy, t. j. su-

ma ich wewnątrz powierzchni zamkniętej nie ulega zmianie; w tym sensie należy też rozumieć twierdzenie Maxwell'a o podobieństwie „elektryczności“ do płynu nieściśliwego (str. 156).

Hypoteza polaryzacji ośrodka dielektrycznego wiązała się w umysłach Faradaya i Maxwell'a z ich koncepcją zasadniczą rozchodzenia się działań elektrycznych bezpośrednio od cząstki do cząstki, czem teorie ich różniły się od dawniejszych teorii działania na odległość. Hypoteza Faradaya tłumaczyła zależność pojemności kondensatora od rodzaju izolatora, znajdującego się pomiędzy okładkami (ob. Faraday: „O indukcji“, str. 123). Współczesny Faraday'owi włoski fizyk Mossotti stworzył inną teorię polaryzacji, która tłumaczyła te same zjawiska, lecz pomijała czynną rolę izolatora w zjawiskach elektrycznych. Mossotti przypuszcza, że

materya dielektryku składa się z kul przewodzących, rozsianych w ośrodku zupełnie nieprzewodzącym; pod wpływem pola elektrycznego naboje w kulkach rozdzielają się, jak wskazuje rysunek, lecz elektryczność nie może przechodzić z jednej kulki do drugiej; po usunięciu pola naboje wracają do pierwotnych położeń i zobojętniają się wzajemnie. Od gęstości rozmieszczenia kul przewodzących zależy stała dielektryczna ciała. Ponieważ indukcja odbywa się tu tylko w przewodnikach, wywołana działaniem na odległość okładek kondensatora, więc właściwy ośrodek izolujący, w którym są zanurzone przewodniki, nie odgrywa tu żadnej roli. Teoria Mossotti'ego, jak wszystkie teorie działania na odległość, nie przewiduje rozchodzenia się działań elektrycznych z szybkością skończoną, więc istnienie fal elektromagnetycznych nie daje się z nią pogodzić.

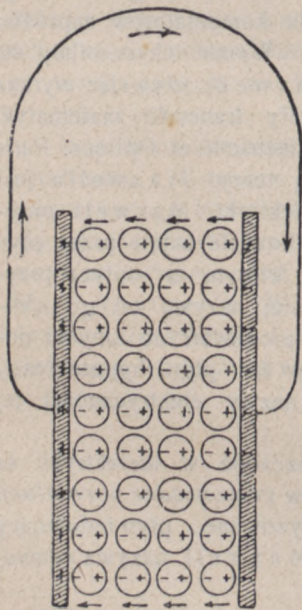


Fig. 23.

Nauka współczesna nie odrzuciła jednak całkowicie poglądów Mossotti'ego na budowę dielektryków. Przejął je H. A. Lorentz w swej teorii elektronów (ob. „Jony i elektrony“); przy-

puszcza on, że cząsteczki dielektryku zawierają elektrony, związane z nimi siłami wewnętrznymi; w polu elektrycznym elektrony wychylają się z położenia równowagi i grają taką samą rolę, jak naboje elektryczne w kulkach przewodzących Mossotti'ego. Obie teorie tem różnią się zasadniczo, że u Lorentz'a przesunięcie elektronów odbywa się nie dzięki działaniom na odległość, lecz pod wpływem spolaryzowania eteru, który otacza i przenika cząsteczki materii. Obok przesunięcia elektronów przyjmuje więc Lorentz przesunięcie w eterze, choć nie wyjaśnia żadną hipotezą jego natury fizycznej.

Teoria Lorentz'a zdaje sprawę ze zjawisk, zachodzących w dielektrykach w spoczynku, równie dobrze, jak teoria Maxwell'a; różnica występuje dopiero w wypadku dielektryku poruszanego. Teorię Maxwell'a zastosował do ciał poruszających się Henryk Hertz, zakładając, że przesunięcie elektryczne jest związane nierozdzielnie z materią dielektryku; dielektryk spolaryzowany w ruchu porywałby więc z sobą całkowite przesunięcie.

Maxwell przypuszcza, że ruch taki byłby równoznaczny z prądem elektrycznym, wywołanym przez unoszenie elektryczności, jaka występuje na powierzchni dielektryku; prąd taki wywołałby pole magnetyczne, proporcjonalne do wielkości przesunięcia, czyli do εE (gdzie E oznacza natężenie pola elektrycznego, a ε stałą dielektryczną). Wniosek ten sprawdził jakościowo Röntgen (ob. niżej jego rozprawę).

Według Lorentza całkowite przesunięcie elektryczne εE składa się z dwóch części: z przesunięcia elektronów, które bierze udział w ruchu materii, oraz z przesunięcia w eterze, które udziału w ruchu nie bierze, gdyż o eterze przypuszcza się, że jest nieruchomy; *) ponieważ to drugie przesunięcie jest równe liczbowo natężeniu E , przeto pole magnetyczne, wywołane ruchem dielektryku spolaryzowanego powinno być proporcjonalne do $\varepsilon E - E = (\varepsilon - 1) E$. **)

Prace Pender'a i Eichenwald'a nad prądami Röntgen'a rozstrzygnęły pytanie na korzyść teorii elektronowej. (ob. „Prądy konwekcyjne“, artykuł Eichenwald'a).

*) To założenie jest w zgodzie ze zjawiskiem optycznym, obserwowanem przy ruchu wody przez Fizeau. Teoria elektronowa daje też wartość t. zw. Fresnel'owskiego współczynnika unoszenia, zgodną z doświadczeniem; równa się on stosunkowi unoszonej części przesunięcia do przesunięcia całkowitego. (Ob. Fizeau w dziale optyki).

**) Ob. Witkowski, t. III, Ust. 71.

4) (Str. 156). Twierdzenie o prądach zamkniętych jest jednym z najważniejszych w teorii Maxwell'a. Jeśli niema zasadniczej różnicy pomiędzy prądem przewodzonym, a prądem przesunięcia, to drugiemu trzeba przypisać te same własności co pierwszemu, więc przedewszystkiem własność wzbudzania pola magnetycznego. Ta konsekwencya doprowadziła dalej do twierdzenia, że pole elektryczne rozchodzi się ze skończoną szybkością (patrz str. 162).

5) (Str. 157). Wymiar naboju elektrycznego w jednostkach elektrostacyjnych jest: $cm. \frac{3}{2} gr. \frac{1}{2} sek.^{-1}$, a w jednostkach elektromagnetycznych: $cm. \frac{1}{2} gr. \frac{1}{2}$. Aby znaleźć wspomniany w tekście stosunek, dzielimy wymiar jednostki elektromagnetycznej przez wymiar jednostki elektrostacyjnej; w rezultacie otrzymujemy $sek. cm.^{-1}$. Odwrotność tej wielkości, czyli stosunek jednostki elektrostacyjnej do elektromagnetycznej, ma wymiar $cm. sek.^{-1}$, taki sam, jak wymiar szybkości. Ob. Witkowski, tom III, str. 218.

6) (Str. 158). Wniosek ten sprawdził Rowland (ob. niżej); doświadczenie jego dało nadto nową metodę określania stosunku jednostek elektrycznych.

7) (Str. 158). Wilhelm Weber (1804 — 1891) był profesorem fizyki w Getyndze; zaprzyjaźnił się tam ze słynnym matematykiem i astronomem Gauss'em (1777 — 1855), z którym razem dokonał szeregu ważnych prac nad pomiarami magnetycznymi, a w szczególności nad magnetyzmem ziemskim. Opracowali razem układ jednostek magnetycznych, który Weber rozszerzył następnie na jednostki elektryczne i stworzył układ, a raczej dwa układy: elektrostacyjny i elektromagnetyczny,—które dziś znamy powszechnie pod nazwą układów bezwzględnych jednostek elektrycznych. Wspólnie z Gauss'em Weber zbudował w r. 1833 pierwszy telegraf elektryczny, który działał pomiędzy pracownią fizyczną i obserwatorium astronomicznem w Getyndze; w telegrafie tym prąd elektryczny, wytworzony przez jedno tylko ogniwo, umieszczone na jednej stacyi, był przewodzony za pomocą dwóch drutów miedzianych, poprowadzonych ponad dachami domów do drugiej stacyi, gdzie wprawiał w ruch igłę galwanometru. (Obacz też Ampère, str. 83). Weber, chcąc wprowadzić jednolitość do praw, rządzących siłami elektryczności, wygłosił przypuszczenie, że siła, działająca pomiędzy dwoma nabojami, zależy nie tylko od ich wzajemnej odległości, jak tego chce prawo Coulomb'a, ale i od szybkości ich ruchu względnego. Przypuszczenie to ujął Weber

we wzór matematyczny, znany jako prawo zasadnicze elektrodynamiczne Weber'a:

$$f = \frac{e \cdot e'}{r^2} (1 - \alpha V_r)$$

Gdzie α jest pewnym współczynnikiem liczbowym, a V_r składową szybkości względnej, wziętą w kierunku promienia r . Gdy $V_r = 0$, otrzymujemy zwykły wzór Coulomb'a; gdy szybkość jest wielka, wchodzimy w dziedzinę elektrodynamiki, w dziedzinę prądów elektrycznych; ze wzoru Weber'a można wyprowadzić prawo Ampère'a, jeśli uwzględnić jeszcze przyspieszenie względne nabożów. Prawa obywatelstwa twierdzenie Weber'a w nauce nie zyskało. W r. 1837 Ernest August, król Hanoweru, do którego należała i Getynga, zniósł miejscową konstytucję; siedmiu profesorów getyngeskich zaprotestowało przeciw temu, wskutek czego usunięto ich z zajmowanych katedr; między nimi znajdował się i Weber. Po kilku latach, w r. 1843, powołano go na profesora do Lipska, a w r. 1849 powrócił do Getyngi, gdzie pozostawał do śmierci.

Fryderyk Kohlrausch ur. 1840, profesor fizyki kolejno w Getyndze, Zurychu, Darmsztacie, Würzburgu, Strasburgu i Berlinie pracował nad udoskonaleniem metod ścisłych pomiarów elektrycznych, znany jest jako autor szeroko rozpowszechnionego podręcznika fizyki praktycznej.

⁸⁾ (Str. 159). Tę metodę (balistyczną) mierzenia nabożów wprowadził Faraday (ob. Faraday, str. 118 i uw. 9).

⁹⁾ (Str. 159). Życiorys W. Thomson'a (lorda Kelvina) patrz tom I, str. 301.

¹⁰⁾ (Str. 160). Jeden ohm zawiera 10^9 jednostek elektromagnetycznych, czyli $10^9 \text{ cm. sek.}^{-1}$, gdyż jednostka elektromagnetyczna oporu mierzy się przez cm. sek.^{-1} . Wielkości, podane w tekście, wynoszą więc $2,82 \cdot 10^{10} \text{ cm. sek.}^{-1} = 282000 \text{ klm./sek.}$, względnie: 288000 klm./sek.

¹¹⁾ (Str. 161). Ob. „Optykę“, Newton'a.

¹²⁾ (Str. 162). Ob. „Optykę“.

¹³⁾ (Str. 162). T. j. energii pola elektrycznego i pola magnetycznego (wzbudzonego przez prądy elektryczne).

¹⁴⁾ (Str. 162). Ob. uw. 3.

¹⁵⁾ (Str. 164). Niektóre nowsze rezultaty są następujące:

Szybkość światła

Michelson	(1879)	2,9982.10 ¹⁰	$\frac{cm.}{sek.}$
"	(1882)	2,9976	"
Newcomb	(1885)	2,99615	"
		2,99682	"
		2,99766	"

Stosunek jednostek elektrycznych

J. J. Thomson	(1883)	2,963.10 ¹⁰	$\frac{cm.}{sek.}$
Klemencic	(1884)	3,019	"
Himstedt	(1888)	3,009	"
W. Thomson	(1889)	3,004	"
P. B. Rosa	(1889)	2,9993	"
J. J. Thomson i Searle	(1890)	2,9955	"

¹⁶⁾ (Str. 164). Jeśli dla danego ośrodka $\mu=1$, to szybkość światła w tym ośrodku jest

$$V = \frac{v}{\sqrt{\epsilon}}, \quad \text{lub} \quad \frac{v}{V} = \sqrt{\epsilon}$$

Ale v jest szybkością światła w próżni, więc $\frac{v}{V}$ jest współczynnikiem załamania n danego ośrodka. Mamy więc

$$n = \sqrt{\epsilon} \quad \text{lub} \quad n^2 = \epsilon$$

¹⁷⁾ (Str. 165). Boltzmann badał te dwie wielkości dla gazów i znalazł daleko idącą zgodność wyników; podajemy parę liczb znalezionych przez niego:

	Powietrze	Wodór	Etylen	Dwutlenek węgla
ϵ	1,000590	1,000264	1,001312	1,000946
n^2	1,000586	1,000276	1,001356	1,000898

Dla niektórych cieczy mamy również zgodność wcale dobrą, np.:

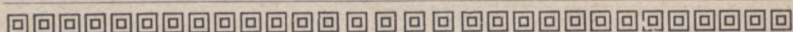
	Siarczek węgla	Ropa naftowa	Benzol.
ϵ	2,609	2,08	2,2025
n^2	2,628	2,115	2,2464

(n brane dla linii C).

Natomiast w szeregu innych ciał spotyka się różnice ogromne; np. dla wody (i lodu) $\epsilon = 80$, $n^2 = 1,8$; dla szkła $\epsilon = 5,44$, $n^2 = 2,3$.

Przyczynę tych różnic już Maxwell widział w odrębności warunków, w jakich obie wielkości były mierzone; przy pomiarze stałej dielektrycznej ośrodek znajduje się w stanie statycznym, przy pomiarze współczynnika załamania jest siedliskiem niezmiernie szybko powtarzających się zaburzeń; już obliczenie stałej dielektrycznej zapomocą mierzenia długości fal Hertz'a zbliża te warunki do siebie i, istotnie, ϵ dla lodu, znalezione tą drogą, wynosi tylko 2,5, różni się więc niewiele od n^2 .

Maxwell sam widział niedostateczność swej teorii, która nie zdawała np. sprawy z rozszczepienia światła. Dalszy rozwój teorii elektromagnetycznej światła uzupełnił ten brak przez hipotezę, że z cząsteczkami dielektryku są związane elektrony, których drgania warunkują zjawisko rozszczepienia. (Ob. „Jony i elektrony“).



HENRYK RUDOLF HERTZ.

(1857.—1894).

Henryk Hertz urodził się w Hamburgu jako syn adwokata a następnie senatora, d-ra Hertz'a. Wcześniej obudziło się w nim zamiłowanie do nauk przyrodniczych i matematyki, do których przykładał się usilnie. Obok tego, lubił roboty mechaniczne; z własnej inicjatywy uczył się w latach szkolnych robót stolarskich i to-karskich i sam budował sobie proste, lecz dobre przyrządy mecha-niczne i optyczne; to zamiłowanie nie opuszczało go w później-szych latach i niejednen z przyrządów, których używał do badań naukowych, wyszedł z pod jego ręki.

Po ukończeniu szkoły średniej długo wahał się w wyborze zawodu; fizyka i matematyka pociągały go ku sobie, ale nie ufał swym siłom, a bał się miernoty. „Wolę być wybitnym przyrodni-kiem, niż wybitnym inżynierem, lecz wolę być miernym inżynierem, niż miernym przyrodnikiem“ — pisał w liście do swoich rodziców. Zaczął więc studia techniczne, ale rychło się spostrzegł, że z wy-kładanych przedmiotów interesują go tylko przedmioty fizyczno-chemiczne i matematyczne, a sama technika nie pociąga go wcale; po dojrzałym namyśle zmienił kierunek i wstąpił na uniwersytet w Monachium dla oddania się umiłowanym studjom. Po roku prze-szedł do Berlina, gdzie dostał się pod kierunek Helmholtz'a, który miał na jego umysłowość wywrzeć wpływ ogromny. Znako-mity uczony odrazu poznał niepospolite dary początkującego stu-denta i roztoczył nad nim troskliwą opiekę, kierując jego pierwsze-mi pracami, podsuwając tematy i zagadnienia. Hertz stał się jego ulubionym uczniem; widział w nim Helmholtz przyszłego konty-

nuatora swych własnych idei naukowych. Ale mistrz przeżył ucznia—coprawda o kilka miesięcy zaledwie. We wspomnieniu pośmiertnem Helmholtz tak charakteryzuje przedwczesnie zmarłego badacza:

„Los i natura zdały się w sposób niezwykły sprzyjać rozwojowi tego ducha ludzkiego, który łączył w sobie wszystkie warunki, konieczne do rozwiązywania najtrudniejszych zagadnień nauki. Umysł to był zdolny zarówno do najwyższej ścisłości i jasności myślenia logicznego, jak i do najskrupulatniejszej uwagi przy obserwowaniu niepozornych zjawisk. Niewtajemniczony obserwator przechodzi obok nich z lekkim sercem, nie zwracając na nie uwagi; lecz dla bystrego wzroku wskazują one drogę, po której może przenikać w nowe, nieznane tajniki przyrody“.

Niezwykłe zdolności Hertz'a objawiły się wkrótce. Zaraz po przyjeździe do Berlina dowiedział się o zadaniu konkursowem z dziedziny fizyki, ogłoszonym przez wydział filozoficzny uniwersytetu. Zadanie dotyczyło pytania, czy elektryczność posiada bezwładność istotną (poza bezwładnością pozorną, wywoływaną przez samoindukcję); bezwładność owa musiałaby wpływać na natężenie prądów samoindukcyjnych, więc dokładne zbadanie tych prądów (t. zw. extra-prądów) powinno było dać odpowiedź na postawione pytanie. Hertz niezwłocznie zabrał się do pracy, przedstawił Helmholtz'owi plan doświadczeń i pod jego okiem w kilka miesięcy uporał się z zagadnieniem, na które otrzymał odpowiedź przeczącą. Do tematu tego powracał jeszcze dwukrotnie przy użyciu innych dróg doświadczalnych, a otrzymane wyniki wykazywały z coraz większą dokładnością, że znane nam dotychczas zjawiska nie wymagają, abyśmy elektryczności przypisywali bezwładność. Przy wykonaniu pierwszej swej pracy naukowej Hertz wykazał taką pewność w posługiwaniu się środkami naukowymi, że wydział, przyznawszy mu nagrodę, opatrzył ją w szczególnie pochlebną opinię. Dalsze lata przynoszą cały szereg prac teoretycznych i doświadczalnych z dziedziny elektrodynamiki, ważniejsze z nich dotyczą indukcji w kulach wirujących, wyładowań i nabożów pozostałych, promieni katodowych, porównania równań Maxwell'a z równaniami innych teorii i w. i. Prócz tego pracował Hertz i w innych dziedzinach fizyki: pisał o zetknięciu ciał sprężystych, o parowaniu w próżni, o procesach adiabatycznych w powietrzu i t. d.

Te wszystkie prace były niejako wstępem tylko do największego jego odkrycia, do znakomitych „Badań nad rozchodze-

niem się siły elektrycznej.“ Zagadnienie to kosztowało go cztery lata wytężonej pracy (od 1887 do 1891), w ciągu których ogłosił 10 rozpraw, rozwijających stopniowo ten temat i ujmujących go coraz szerzej i coraz głębiej; parę wyjątków z nich przytaczamy w tekście. Pohop do podjęcia tych dociekań dało wielkie zadanie konkursowe, ogłoszone przez Akademię Berlińską; szukano rozstrzygnięcia pomiędzy teorią Maxwell'a a teoryami działania na odległość w odpowiedzi na pytanie, czy prądy polaryzacyjne w izolatorach wywołują takie same działania magnetyczne i elektrodynamiczne, jak prądy przewodzone. Temat ten podał Akademii Helmholtz z wyraźną myślą o Hertz'u, jako o człowieku, który posiadał wszystkie dane do rozwiązania tego trudnego i doniosłego zagadnienia. Wynikiem badań Hertz'a było odkrycie fal elektromagnetycznych, przewidzianych i przepowiedzianych już przez Maxwell'a. To odkrycie przyczyniło się, jak żadne inne, do rozpowszechnienia i spopularyzowania poglądów Faradaya i Maxwell'a.

Potwierdziwszy w ten sposób doświadczalnie przewidywania teorii Maxwell'owskiej, Hertz przystąpił do rozwinięcia jej samej; usystematyzował ją i ujednostajnił, usuwając pozostałości dawniejszych poglądów i uwydatniając podstawowe założenia. Następnie rozszerzył teorię, stosując ją do ciał będących w ruchu; był to pierwszy krok na drodze, wiodącej do niezmiernie ważnych rezultatów; najważniejsze ogniwo z całego łańcucha dociekań, zapoczątkowanych przez Hertz'a,— elektronowa teoria Lorentz'a— usunęła teorię Hertz'a; poczynione przezeń założenia nie ostały się wobec faktów doświadczalnych; to jednak nie uszczupla bynajmniej jego wielkiej zasługi jako pioniera tej gałęzi badań fizyki teoretycznej.

W ciągu doświadczeń z drganiami elektrycznymi Hertz dokonał jeszcze jednego ważnego odkrycia. Zauważył on (w r. 1887), że iskra pomiędzy biegunami iskiernika przeskakuje łatwiej, jeśli w jej pobliżu wywoływać drugą iskrę; zręcznie przeprowadzone doświadczenia przekonały go, że należy to przypisać światłu (przeważnie promieniom pozafiołkowym), wysyланemu przez iskrę pomocniczą, które, padając na iskiernik, ułatwia powstawanie iskry. W rok później Hallwachs uogólnił i ściślej ujął spostrzeżenia Hertz'a; dowiódł on, że przewodniki, naelektryzowane ujemnie, tracą nabój pod wpływem promieni pozafiołkowych; jest to t. zw. zjawisko fotoelektryczne, badane następnie bardzo obszernie i szczegółowo.

Najdobitniejszy wyraz swym dążnościami do roztrząsania podstawowych zagadnień nauki dał Hertz w „Zasadach mechaniki“, które oddał do druku przed samą śmiercią. Podjął w nich tę samą pracę systematyzującą, jasno odsłaniającą założenia dla wysnucia z nich całego gmachu twierdzeń naukowych, jaką wykonał już w zakresie elektrodynamiki w swych studyach nad równaniami Maxwell'a. Dążył do możliwego zredukowania zasadniczych pojęć mechaniki i szukał jednej podstawowej zasady, wystarczającej do rozwinięcia całej nauki—bez uciekania się do twierdzeń pomocniczych. Z pojęć zasadniczych mechaniki pozostawił tylko czas, przestrzeń i masę.

„Zadanie jej (mechaniki Hertz'a) polega na przedstawieniu związków naturalnych pomiędzy temi trzema i tylko temi trzema pojęciami. Czwarte pojęcie, jak np. pojęcie siły albo pracy... usunięto z liczby samodzielnych pojęć zasadniczych...

„Gdybyśmy zechcieli zrozumieć ruchy ciał otaczających i sprowadzić je do prostych i przejrzystych prawideł, uwzględniając to tylko, co widzimy bezpośrednio naszemi oczyma, to próba taka nie doprowadziłaby do niczego. Spostrzeżlibyśmy wkrótce, że wszystko to, co możemy widzieć i dotykać, nie stanowi jeszcze świata, rządzonego określonymi prawami, w którym jednakowe warunki powodowałyby zawsze jednakowe skutki. Przekonalibyśmy się, że bogactwo świata rzeczywistego musi być różnorodniejsze, niż bogactwo świata, objawiającego się bezpośrednio naszym zmysłom. Jeśli pragniemy otrzymać obraz świata wykończony, w sobie zamknięty, stałym prawom podległy, to poza rzeczami, które widzimy, musimy przypuszczać istnienie innych, niewidzialnych rzeczy, musimy poszukiwać utajonych czynników poza granicami, dostępnymi dla naszych zmysłów.“

Mechanika stwarza w tym celu nowe kategorie pojęć: siły albo energii. Ale Hertz obiera inną drogę:

„Możemy przyznać, że współdziała tu coś ukrytego, lecz odrzucić myśl, że to coś stanowi odrębną kategorię. Nic nam nie broni przypuścić, że owa rzecz ukryta nie jest niczem innym, jak znowu ruchem i masą; te ruchy

i masy mogą się różnić od ruchów i mas widzialnych nie zasadniczo, lecz tylko w stosunku do nas i do naszych popolitych środków spostrzegania... To, cośmy przywykli nazywać siłą albo energią, sprowadza się wówczas dla nas do działania mas i ruchów, choć mogą to być masy i ruchy niedostępne dla naszych grubych zmysłów.“

Podstawową zasadę mechaniki określa Hertz jak następuje:

„Każdy ruch naturalny układu materialnego swobodnego na tem polega, że układ porusza się z prędkością stałą po torze możliwie najprostszym... To twierdzenie sprzęga w jedno zwykłe prawo bezwładności oraz Gauss'owską zasadę najmniejszego działania. *) Wypowiada ono, że, gdybyśmy związki układu mogli rozluźnić na chwilę, to masy układu rozpraszalyby się, biegnąc ruchem prostoliniowym i jednostajnym; ponieważ jednak takie rozluźnienie nastąpić nie może, więc ruch ich będzie przynajmniej możliwie blizki takiego ruchu swobodnego.“

Hertz szybko kroczył po szczeblach kariery akademickiej. W r. 1880 został asystentem Helmholtz'a, w trzy lata później habilitował się w Kilonii, w r. 1885 otrzymał katedrę nadzwyczajną na politechnice w Karlsruhe, a w 1889 katedrę zwyczajną na uniwersytecie w Bonn. Tytuły członka korespondenta wielu akademii i towarzystw naukowych, medale i ordery świadczą o uznaniu, jakim się cieszył pomiędzy uczonymi. Bliżsi znajomi darzyli go przyjaźnią za jego cichy i prawy charakter, za skromność i bezinteresowność oraz za powagę i zapał z jakim oddawał się swemu powołaniu.

Świetne nadzieje, jakie rokował młody jeszcze, a już niepospolicie zasłużony badacz, zniweczyła choroba i śmierć, która zabrała go w 37-ym roku życia i przecięła gwałtownie wszystkie plany i zamiary, które kiełkowały w jego genialnym umyśle.

*) Zasadę Gauss'a można tak wypowiedzieć: punkty materialne, związane pomiędzy sobą w jakikolwiek sposób, doznają podczas ruchu pewnych zbroceń od tych ruchów, jakieby wykonały, gdyby były swobodne; ruch rzeczywisty odbywa się tak, że suma iloczynów każdej masy przez kwadrat zbroczenia ma najmniejszą z możliwych wartości. (ob. Mach: Die Mechanik in ihrer Entwicklung; wyd. VI, str. 392).

Badania nad rozchodzeniem się siły elektrycznej. *)

W r. 1879 Akademia Berlińska ogłosiła na wniosek Helmholtz'a zadanie konkursowe, polegające na stwierdzeniu doświadczalnym jakiegokolwiek związku pomiędzy siłami elektrodynamicznymi, a polaryzacją dielektryczną; związek taki przewidywała teoria elektryczności Maxwell'a, i na tej drodze można się było spodziewać wskazówek co do jej trafności. Hertz zamierzył pokusić się o rozstrzygnięcie zagadnienia; po dokonaniu potrzebnego obliczenia doszedł do wniosku że do otrzymania dostrzegalnych działań potrzeba zmian polaryzacji daleko szybszych od tych, jakie pozwalały osiągnąć ówczesne metody wywoływania drgań elektrycznych.

Istnienie drgań elektrycznych czyli prądów wahadłowych wewnątrz przewodników otwartych odkrył w r. 1858 fizyk duński Feddersen, badając rozbrojenie butelki lejdejskiej przez iskrę; stwierdził on, że wyładowanie ma charakter wahadłowy, t. j. że zamiast momentalnego rozbrojenia zapomocą jednej iskry, otrzymujemy kilka rozbrojeń, następujących szybko po sobie, przytem kierunek prądu zmienia się za każdym razem. Otrzymane w ten sposób drgania elektryczne były wprawdzie bardzo szybkie

*) „Untersuchungen über die Ausbreitung elektrischer Kraft“, Wyd. I w r. 1891, Wyd. II w r. 1895, jako tom II wydania zbiorowego Hertz'a (Gesammelte Werke, Leipzig 1895). Jest to zbiór rozpraw nad tym przedmiotem, ogłaszanych od r. 1887 do 1891 i poprzedzonych uwagami wstępnymi autora.

(około 300000 wahań na sekundę), ale nie wystarczające jeszcze dla celów Hertz'a. Teoria wskazuje, że okres drgań T wyraża się wzorem

$$T = 2\pi\sqrt{L.C}$$

gdzie L oznacza współczynnik samoindukcji, a C pojemność przewodnika (ob. Witkowski, tom III, str. 595); stąd wynika, że można zwiększyć częstość drgań, zmniejszając pojemność i samoindukcję przewodnika. Gdyby zamiast okładek butelki lejdejskiej użyć prostych przewodników, zwróconych ku sobie końcami, to, jak obliczał Hertz, ilość drgań możnaby zwiększyć około 100 razy. Aby drgania, które zwykle zanikają bardzo szybko, odbywały się bez przerwy, wystarczyło połączyć przewodniki z biegunami wtórnymi cewki Ruhmkorff'a; prądy przemienne, odbierane z cewki, wzbudzają wahania elektryczne w przewodnikach, dostarczając potrzebnej na to energii, podobnie jak uderzanie młoteczką w napiętą strunę pobudza ją do wahań, a powtarzane ustawicznie, utrzymuje strunę w stanie ciągłego drgania. (Witkowski, t. III, str. 609).

W pobliżu takiego przewodnika pierwotnego, będącego siedliskiem drgań elektrycznych, Hertz umieszczał obwód wtórny, złożony z drutu wygiętego w koło lub prostokąt; kończył się on kulkami mosiężnymi, oddzielonemi od siebie wąską przerwą, której wielkość można było regulować zapomocą śrubki mikrometrycznej. Ta przerwa nosi nazwę isiernika. Gdy w przewodniku pierwotnym przeskakiwały iskry, którym towarzyszyły drgania elektryczne, małe iskierki dawały się zauważyć również w isierniku przewodnika wtórnego, z czego Hertz wywnioskował, że i w tym drugim przewodniku mają miejsce prądy wahadłowe, indukowane przez prądy wahadłowe pierwotne.

Szczegóły doświadczeń dawały się wyjaśnić tylko na zasadzie przypuszczenia, że działanie indukcyjne w przewodniku wtórnym nie powstaje jednocześnie z wywołującym je prądem, lecz rozchodzi się z szybkością skończoną, tak, że na przebycie drogi pomiędzy dwoma przewodnikami potrzeba określonego czasu. Porównyując szybkość rozchodzenia się fali indukcji w powietrzu z szybkością rozchodzenia się fali elektrycznej wzdłuż drutu, łatwą do obliczenia z długości fali i ilości drgań, Hertz oblicza, że pierwsza szybkość wynosi $3,2 \times 10^{10}$ cm./sek. a więc znajduje liczbę bardzo bliską szybkości światła, jak tego

wymaga teorya Maxwell'a; różnica daje się łatwo wytlómaczyć błędami doświadczenia. Bardziej jeszcze bezpośredniego dowodu istnienia fal elektrycznych w powietrzu dostarczała obserwacya fal stojących; poniżej podajemy tlómaczenie odnośnej pracy Hertz'a. Przyrządy, użyte przy niej, są opisane w jednej z rozpraw poprzednich.

Przewodnik pierwotny AA (fig. 24) składał się z dwóch kwadratowych płyt mosiężnych o krawędziach 40 cm. dłu-

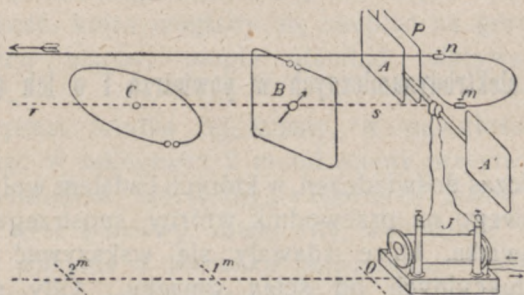


Fig. 24.

gości, połączonych drutem miedzianym 60 cm. długości. W środku drutu znajdował się iskiernik, w którym drgania były wzbudzane zapomocą nader silnych rozbrojeń cewki indukcyjnej J ...

Za przewodnik wtórny służył drut C w kształcie koła o promieniu 35 cm. Iskiernik był regulowany zapomocą śrubki mikrometrycznej... Przewodnik był dostrojony do resonancyi z przewodnikiem pierwotnym. ¹⁾ Czas wahania (pół okresu) obu przewodników, obliczony na podstawie pojemności i samoindukcyi przewodnika pierwotnego, wynosił 1,4 stamilionowych sekundy... ²⁾

O falach elektrodynamicznych w powietrzu i o ich odbiciu. *)

...Podczas doświadczeń, w których badałem wpływ drgania prostoliniowego na przewodnik wtórny, spostrzegłem wielokrotnie zjawiska, które zdawały się wskazywać na odbicie działań indukcyjnych od ścian gmachu... Gdy stwarzałem warunki coraz korzystniejsze dla odbicia, zjawisko występowało coraz wyraźniej, a podane tłumaczenie zyskiwało wciąż na prawdopodobieństwie. Nie zatrzymuję się jednak na tych niedoskonałych doświadczeniach, lecz przystępuję wprost do opisu doświadczeń podstawowych.

Sala do wykładu fizyki, w której dokonywano tych doświadczeń, ³⁾ ma blisko 15 m. długości, 14 szerokości i 6 wysokości. Równolegle do obu ścian podłużnych biegną jednak dwa rzędy słupów żelaznych, które razem stanowią dla działań elektrodynamicznych zaporę napewno nie słabszą niż stała ściana; części sali, pomieszczone poza słupami, nie mogą więc być brane w rachubę. Dla doświadczeń pozostawała zatem przestrzeń środkowa o 15 m. długości, 8,5 m. szerokości i 6 m. wysokości. Z tej przestrzeni kazałem usunąć wiszące części przewodów gazowych i pająki żelazne tak, że nie zawierała nic, prócz drewnianych stołów i ławek, które trudno było usunąć, z których strony jednak nie spodziewa-

*) „Ueber elektrodynamische Wellen im Luftraume und deren Reflexion“. Wiedemanns Annalen. 34. 1888.

łem się wcale szkodliwych działań; nie zauważyłem ich też zupełnie. Jedną ze ścian szczytowych, na której miało następować odbicie, była masywna ściana z piaskowca, pokryta licznymi przewodami gazowymi. Aby nadać ścianie bardziej jeszcze charakter powierzchni przewodzącej, umocowano na niej blachę cynkową 4 m. wysoką i 2 m. szeroką; połączono ją drutami z rurami gazowymi i z pobliską rurą wodociągową, szczególnie zaś dbano o to, aby elektryczność, która mogłaby się skupiać na górnym i dolnym końcu blachy, mogła stamtąd odpływać możliwie swobodnie.

Nawprost środka tej ściany, w odległości 13 m. od niej, a więc w odległości 2 m. od ściany przeciwległej, ustawiono przewodnik pierwotny... Kierunek drutu przewodzącego był teraz pionowy, zatem siły, wchodzące w grę, wykonywały wahania w kierunku pionowym... Prostopadłą, poprowadzoną ze środka przewodnika pierwotnego na powierzchnię odbijającą, nazywamy normalną. Nasze doświadczenia ograniczają się do jej pobliża. Płaszczyznę pionową równoległą do normalnej będziemy nazywali w ciągu naszych doświadczeń płaszczyzną drgań, a płaszczyznę prostopadłą do normalnej — płaszczyzną fali.

Przewodnik wtórny był... kołem o promieniu 35 cm. Było ono umocowane tak, że mogło się obracać we własnej płaszczyźnie około osi, przechodzącej przez jego środek i prostopadłej do jego płaszczyzny. Ta oś miała przy doświadczeniach kierunek poziomy; była tak umocowana w podstawie drewnianej, że mogła się obracać wraz z krążkiem około osi pionowej.

Po takich przygotowaniach występuje w sposób najbardziej uderzający następujące zjawisko: umieszczamy środek naszego przewodnika wtórnego na normalnej, a płaszczyznę jego w płaszczyźnie drgań i zwracamy iskiernik to w stronę ściany odbijającej, to go od niej odwracamy. Wogóle iskry wykazują przy tych położeniach znaczne różnice. Jeśli wykonywamy doświadczenie w odległości 0,8 m. od ściany, to iskry są znacznie silniejsze, gdy iskiernik jest

zwrócony ku ścianie. Możemy tak wyregulować długość iskry, że, gdy iskiernik zwrócony jest ku ścianie, przebiega nieustanny potok iskier, a w położeniu odwrotnym iskier niema wcale. Powtórzywszy doświadczenie w odległości 3 m. od ściany, zauważymy naodwrot — ciągły potok iskier w iskierniku odwróconym, a nieobecność iskier w iskierniku zwróconym ku ścianie. Jeśli oddalimy się o 5,5 m., to zachodzi nowe odwrócenie, iskra od strony ściany ma przewagę nad iskrą z drugiej strony. W końcu, w odległości 8 m. spostrzegamy, że dokonana się nowa przemiana, iskra jest silniejsza po stronie odwróconej od ściany, ale różnica nie jest już tak znaczna. Dalsze odwrócenie również już nie zachodzi, nie dopuszczają do tego: przeważająca siła działania bezpośredniego i złożone siły, które mają swe siedlisko

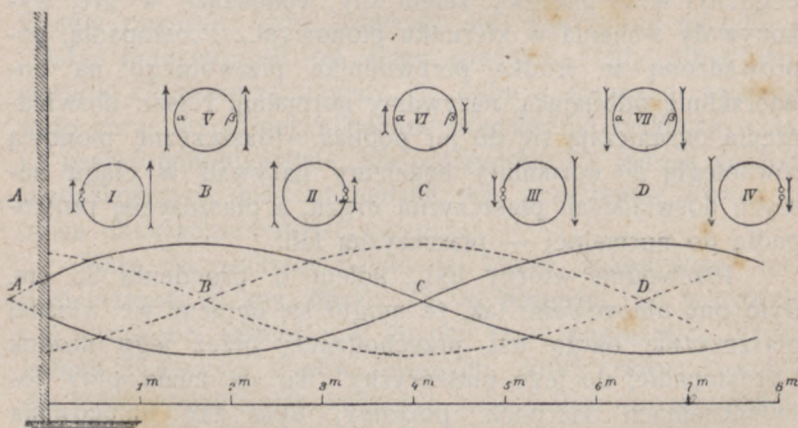


Fig. 25.

w pobliżu drgań pierwotnych. Rysunek nasz, w którym skala podaje odległości od ściany, wyobraża w I, II, III, IV obwód wtórny w tych położeniach, w których tworzenie się iskier było silniejsze. Przemienny charakter stanu przestrzeni występuje tu wyraźnie.

W odległościach, leżących pomiędzy wspomnianymi, obie iskry, o których mowa, stają się sobie równe; różnica pomiędzy iskrami maleje również w bezpośredniej bliskości

ściany. Możemy więc uważać te punkty, mianowicie A , B , C , D rysunku, niejako za punkty węzłowe. Nie należy jednak uważać przedziału pomiędzy jednym z tych punktów a następnym za pół długości fali... Wolno natomiast przypuszczać, że połowie fali odpowiada dwukrotna odległość tych punktów, które więc będą rozgraniczały ćwiartki fal. Istotnie, na podstawie tego przypuszczenia oraz wypowiedzianych już poglądów zasadniczych dojdziemy do zupełnego objaśnienia naszego zjawiska.

Pomyślmy mianowicie, że fala pionowej siły elektrycznej zdążyła ku ścianie, zostaje odbita z małym zmienionym natężeniem, co wywołuje powstawanie fal stojących. Gdyby ściana była doskonale przewodząca, to na samej jej powierzchni musiałby się wytworzyć węzeł, gdyż wewnątrz i na granicy przewodnika doskonałego siła elektryczna może być tylko znikomo mała. Ale ściana nasza nie może uchodzić za doskonale przewodzącą; częściowo nie jest ona nawet metalowa, a o ile jest z metalu, nie jest bardzo rozległa. Więc na jej powierzchni siła elektryczna będzie posiadała jeszcze pewną wartość, przyczem kierunek jej będzie odpowiadał kierunkowi fali padającej. Węzeł, który w wypadku przewodnictwa doskonałego wytworzyłby się na samej ścianie, w rzeczywistości musi leżeć nieco poza jej powierzchnią, mniej więcej w punkcie A naszego rysunku. Jeśli więc podwójna odległość AB , czyli odległość AC ma odpowiadać połowie długości fali, to stosunki geometryczne fali stojącej będą takie, jak je w przyjęty sposób symboliczny wyobraża pełna linia falowa na rysunku. Siły, działające w pewnej określonej chwili po obu stronach koła w położeniach I, II, III, IV, są co do wielkości i kierunku wyobrażone przez dorysowane strzałki. Jeśli więc w pobliżu węzła iskiernik jest zwrócony ku węzłowi, to siła większa działa w drucie w warunkach bardziej sprzyjających, wbrew sile mniejszej, działającej w warunkach mniej pomyslnych. Jeśli natomiast iskiernik jest odwrócony od węzła, to siła większa w warunkach mniej sprzyjających działa teraz wbrew sile mniejszej, działającej w warunkach bardziej

pomyślnych. ⁴⁾ Niezależnie od tego, która z sił przeważy w ostatnim położeniu, w każdym razie iskry muszą być w tym wypadku słabsze, niż w pierwszym, a to objaśnia zmianę znaku naszego zjawiska po każdym posunięciu się o ćwierć fali.

W sposób bardzo bezpośredni możemy potwierdzić trafność tego obrazu fali elektrycznej, jakiśmy sobie wytworzyli. Jeśli mianowicie ustawimy płaszczyznę naszego koła nie w płaszczyźnie drgań, lecz w płaszczyźnie fali, to siła elektryczna jest jednakowa we wszystkich częściach krążka; przy niezmiennem położeniu iskiernika natężenie iskiek będzie poprostu proporcjonalne do tej siły elektrycznej. Iskry, jak się tego można było spodziewać, znikają we wszystkich odległościach w najwyższym i najniższym punkcie krążka, najsilniejsze powstają w punktach, leżących w jednej płaszczyźnie poziomej z normalną. ⁵⁾ Ustawiamy więc iskiernik w jednym z ostatnich położzeń i oddalamy się powoli od ściany. Zauważymy, że bezpośrednio przy przewodzącej powierzchni metalowej niema iskiek wcale, ale występują one już przy bardzo małem oddaleniu; rosną następnie szybko i w *B* osiągną względnie największą siłę, poczem znów słabną. W *C* stają się nadzwyczaj słabe, ale wzrastają ponownie przy dalszem posuwaniu się. Powtórne osłabienie wprawdzie już nie występuje, natomiast iskry wzmagają się ustawicznie z powodu wzrastającego zbliżenia do drgań pierwotnych. Gdybyśmy unaocznili zapomocą krzywej siłę iskry w przedziale *AD*, odkładając ją w kierunku dodatnim i ujemnym, to otrzymalibyśmy w przybliżeniu w sposób bezpośredni krzywą narysowaną...

Rozpoznaliśmy więc z zupełną pewnością w *A* i *C* węzły, natomiast w *B* i *D* strzałki fali elektrycznej. W innym znaczeniu możemy jednak punkty *B* i *D* również uważać za węzły. Są to mianowicie węzły stojącej fali magnetycznej, która, według teorii, towarzyszy fali elektrycznej i jest względem niej przesunięta o ćwierć długości fali...

Linia kropkowana na naszym rysunku wyobraża falę magnetyczną...

Odległość pomiędzy *B* i *C* wynosiła według naszych pomiarów 2,4 m... Połowa długości fali wynosi zatem 4,8 m. Dla tego samego aparatu otrzymałem na drodze pośredniej długość połowy fali=4,5 m. Różnica nie jest tak wielka, abyśmy nie mogli w nowym pomiarze widzieć potwierdzenia pomiaru dawnego... Zresztą wartość średnia byłaby może najbardziej bliską prawdy... Czas wahań naszego przyrządu, obliczony w przypuszczeniu, że długość fali równa się wartości średniej pomiarów, a szybkość rozchodzenia się jest równa szybkości światła — wynosi mniej więcej 1,55 stamilionowych sekundy, zamiast obliczonych 1,4 stamilionowych.

Te same doświadczenia powtórzono z przyrządem mniejszym, wysyłającym fale, których połowa długości wynosiła 2 m., szybkość drgań była więc przeszło dwa razy większa niż poprzednio. Wyniki były nie tak wyraźne w szczegółach, ale naogół potwierdziły wyniki pierwszych doświadczeń.

Rozwiniemy teraz nasze doświadczenia w innym kierunku. Przewodnik wtórny znajdował się dotąd pomiędzy ścianą odbijającą, a drganiami pierwotnymi, a więc w przestrzeni, w której fale padające i odbite dążą w kierunkach przeciwnych i wytwarzają przez interferencję fale stojące. Jeśli, naodwrot, ustawimy drgania pierwotne pomiędzy ścianą i przewodnikiem wtórnym, to ten znajdzie się w przestrzeni, w której fala padająca i odbita dążą w tym samym kierunku. Muszą one tam składać się na jedną falę postępującą, której natężenie zależy jednak od różnicy faz obu fal interferujących... Obwód wtórny ustawiono w odległości 14 m. od ściany odbijającej, a więc w odległości około 1 m. od ściany przeciwległej. Płaszczyzna jego była równoległa do dotychczasowej płaszczyzny drgań, iskiernik był zwrócony ku bliższej ścianie tak, że warunki występowania iskier były dlań szczególnie korzystne. Przewodnik pierwotny ustawiono równoległe do położenia poprzedniego nawprost środka ściany przewodzącej i to początkowo w bardzo małej od niej odległości — około 30 cm. Iskry w obwodzie wtórnym były nadzwyczaj słabe. Iskiernik nastawiono tak, że iskry wcale już nie przeskakiwały. Teraz stopniowo oddalano przewod-

nik od ściany. Wkrótce ukazały się w przewodniku wtórnym oddzielne iskierki, które przeszły w nieustanny potok iskiek, gdy przewodnik pierwotny doszedł do odległości 1,5—2 m. od ściany, czyli do punktu *B*... Gdy dalej odsunął przewodnik pierwotny od ściany... iskry znów słabły, i potok iskiek zagasał, gdy przewodnik pierwotny dochodził do *C*, poczem przy dalszem zbliżaniu wzrastał już bezustannie. Dokładny pomiar długości fali nie jest możliwy na podstawie tych doświadczeń, jednak z tego, co powiedziałem, wynika, że otrzymana powyżej długość fali czyni zupełnie załość zjawiskom obserwowanym...

Doświadczeniom naszym ostatnio opisanym odpowiada w akustyce doświadczenie, wykazujące, że zbliżanie widełek strojowych do ściany wzmacnia ich dźwięk przy pewnych odległościach, a osłabia go przy innych. W optyce znajdują nasze doświadczenia analogię we Fresnel'owskim doświadczeniu ze zwierciadłem, w postaci podanej przez Lloyd'a. *) W optyce i akustyce doświadczenia te są uważane za dowody natury falowej światła i głosu, więc i my będziemy mogli widzieć w opisanych tu zjawiskach dowody falowego rozchodzenia się działania indukcyjnego drgań elektrycznych.

Do opisanja doświadczeń, o których mowa w tym i w innych artykułach, nie uciekałem się w punktach zasadniczych do żadnej określonej teoryi; istotnie, siła przekonywująca doświadczeń jest niezależna od wszelkiej teoryi. Mimo to widać jasno, że wszystkie te doświadczenia stanowią oparcie dla owej teoryi zjawisk elektrodynamicznych, którą pierwszy stworzył Maxwell, opierając się na poglądach Faradaya. Zdaje mi się również, że i skojarzona

*) Doświadczenie Lloyd'a stanowi analogię do tych doświadczeń, w których odsuwaliśmy stopniowo przewodnik pierwotny od ściany. Tymczasem i doświadczenia pierwszego rodzaju, w którym odsuwaliśmy przewodnik wtórny od ściany odbijającej, znalazły analogię w pięknych doświadczeniach, ogłoszonych przez O. Wiener'a w rozprawie: „Fale świetlne stojące i kierunek drgań światła spolaryzowanego“.

z tą teorią hipoteza, dotycząca istoty światła, zyskuje w umyśle naszym silniejsze niż dotąd podstawy.

Jest to bez wątpienia myśl ciekawa, że badane przez nas zjawiska w powietrzu przedstawiają w milionowym powiększeniu te same procesy, jakie zachodzą pomiędzy płytkami szklanymi, wywołującymi barwne prążki Newton'a, lub też w pobliżu Fresnel'owskiego zwierciadła...

Fale, otrzymane dotychczas, zbyt były długie, aby na nich wykazać analogię zupełną pomiędzy falami elektromagnetycznymi a świetlnymi. Zwiększając coraz bardziej szybkość drgań, Hertz doszedł w końcu do fal tak krótkich, że mógł z nimi otrzymać zasadnicze zjawiska optyczne.

O promieniach siły elektrycznej. *)

Przyrządy.

Metoda wywoływania fal krótkich jest taka sama, jak ta, według której wzbudzano fale długie. Przewodnik pierwotny można najprościej opisać w sposób następujący: Wyobraźmy sobie walec mosiężny o średnicy 3 cm. i długości 26 cm., przerwany w środku przez iskiernik, ograniczony z obu stron przez powierzchnie kuliste o promieniu 2 cm. Długość przewodnika równa się mniej więcej połowie długości takiej fali, jaką drgania w nim wzbudzone wywołują w drutach prostych; już stąd można zorientować się w przybliżeniu, jaka jest częstość drgań...

Do wykazywania sił elektrycznych w przestrzeni służyły i tym razem drobniutkie iskierki, wzbudzane przez te siły w przewodniku wtórnym... Używano głównie przewodnika wtórnego o następującej budowie: dwa proste druty 50 cm. długie i 5 mm. grube ustawiono tak wzdłuż jednej linii prostej, że ich końce zwrócone ku sobie znajdowały się w od-

*) „Ueber Strahlen elektrischer Kraft“. Wiedemann's Ann. 36. 1889.

ległości 6 cm. od siebie; od tych końców szły dwa druty, 15 cm. długości i 1 mm. średnicy, równolegle względem siebie, a prostopadle do pierwszych drutów, i kończyły się iskiernikiem, urządzonym tak, jak w przewodniku kołowym (str. 181). W przewodniku prostoliniowym nie liczono już na resonancję, która też występowała tu bardzo słabo.

Wzbudzanie promieni.

Wywołując drgania pierwotne w dużej swobodnej przestrzeni, można zapomocą przewodnika kołowego otrzymać w ich pobliżu w zmieszanej skali wszystkie te zjawiska, jakie otrzymywałem w bliskości drgań powolniejszych. Największa odległość, przy której iskry były jeszcze widziane w przewodniku wtórnym, wynosiła 1,5 m., a przy dobrym stanie iskiernika pierwotnego nawet 2 m. Działanie w jednym kierunku wzmacnia się, jeśli po przeciwnej stronie przewodnika pierwotnego ustawić w odpowiedniej odległości ściankę przewodzącą, równoległą do kierunku drgań... Można spodziewać się jeszcze większego wzmocnienia, jeśli zamiast płaskiej ścianki użyć zwierciadła wklęsłego w kształcie walca parabolicznego, którego linia ogniskowa przypada na oś podłużną przewodnika pierwotnego... Źródło fal umieszczono w środku linii ogniskowej. Druty, przez które doprowadzałem rozbrojenia, przechodziły przez zwierciadło; cewka indukcyjna i ogniwa znajdowały się więc poza zwierciadłem i nie przeszkadzały doświadczeniom... Badając przestrzeń w pobliżu drgań zapomocą naszego przewodnika, widzimy, że poza zwierciadłem i w bok od niego niema żadnego działania, zato w kierunku osi optycznej zwierciadła widać iskry jeszcze w odległości 5—6 m..

Sporządziłem drugie zwierciadło wklęsłe, zupełnie takie, jak pierwsze i umieściłem wewnątrz niego prostoliniowy przewodnik wtórny tak, że oba proste druty znajdowały się na linii ogniskowej, a druty, prowadzące do iskiernika, przechodziły w najkrótszej odległości przez ściankę zwierciadła

od której je odizolowano. Iskiernik znajdował się w ten sposób poza zwierciadłem i obserwator mógł go ustawiać i regulować, nie stając na drodze biegnącym falom. Spodziewałem się, że chwytając promienie zapomocą takiego urządzenia, będę mógł je obserwować na jeszcze większą odległość; oczekiwania mnie nie zawiodły... Największa odległość, na której mogłem śledzić promień, wynosiła 16 m.

Rozchodzenie się wzdłuż linii prostych.

Jeśli na prostej łączącej zwierciadła ustawić ekran z blachy cynkowej 2 m. wysoki i 1 m. szeroki, prostopadłe do kierunku promieni, to iskry wtórne gasną całkowicie. Równie zupełny cień daje ekran, pokryty cynfolią lub papierem złotym... Izolatory nie zatrzymują promieni; przechodzą one przez drewnianą ścianę lub drzwi; ze zdumieniem można obserwować występowanie iskiek w zamkniętym pokoju. Jeśli po obu stronach promienia, symetrycznie do niego i prostopadłe do jego kierunku, ustawić dwa ekrany przewodzące 2 m. wysokie i 1 m. szerokie, to nie wpływają one wcale na osłabienie iskiek wtórnych, dopóki szerokość szpary pomiędzy nimi nie jest mniejsza od otworu zwierciadeł t. j. nie mniejsza od 1,2 m. Jeśli szparę zmniejszą, to iskry słabną, wreszcie gasną, gdy szerokość szpary staje się mniejszą od 0,5 m....

Promień jest geometrycznie ostro ograniczony, cień nie ma tak ostrej granicy, i łatwo można wywołać zjawiska, odpowiadające uginaniu się światła; nie udało mi się jednak dotąd obserwować maximów i minimów na brzegu cienia.

Polaryzacja.

Sposób, w jaki nasze promienie powstają, nie pozwala wątpić, że drgania ich są poprzeczne i że są spolaryzowane liniowo w znaczeniu optycznym. Dowieść tego może-

my także doświadczalnie. Obracajmy zwierciadło odbierające około promienia jak około osi, dopóki jego linia ogniskowa a z nią i przewodnik prostoliniowy nie przyjmie położenia poziomego; iskry wtórne zanikają przy tem stopniowo, a przy pozycyi skrzyżowanej obu linii ogniskowych wcale nie otrzymujemy iskiei, nawet zsunąwszy blisko zwierciadła. Zwierciadła te zachowują się jak polaryzator i analizator przyrządu polaryzacyjnego. Kazałem zrobić ramę drewnianą ośmiokątną 2 m. szeroką i 2 m. wysoką i rozpiąć na niej druty miedziane o grubości 1 mm.; druty były rozpięte równolegle w odległości 3 cm. jeden od drugiego. Gdy ustawiłem teraz zwierciadła równolegle i pomiędzy nie wsunąłem zasłonę drucianą tak, że kierunek drutów przecinał prostopadłe kierunek linii ogniskowych, to zasłona niemal wcale nie osłabiała iskiei. Jeśli jednak było umieścić zasłonę tak, że jej druty były równoległe do linii ogniskowych, wówczas zasłona zatrzymywała promień całkowicie. Więc, o ile chodzi o przepuszczanie energii, zasłona zachowuje się względem naszego promienia tak samo zupełnie, jak płytka turmalinowa względem spolaryzowanego promienia optycznego. Teraz ułożono poziomo linię ogniskową zwierciadła odbierającego; jak już wspomniałem, iskiei nie było; nie było ich i wtenczas, gdy na drodze promienia stawiano zasłonę, jeśli jej druty przebiegały pionowo lub poziomo. Gdy jednak ustawiono ramę tak, że druty tworzyły z poziomem kąt 45° , to przy wsuwaniu zasłony w iskierniku wtórnym natychmiast powstawało światło. Najwidoczniej zasłona rozkłada drgania padające na dwie składowe i przepuszcza tylko tę z nich, której kierunek jest prostopadły do drutów zasłony. Ta składowa tworzy kąt 45° z linią ogniskową drugiego zwierciadła i, rozłożona ponownie przez to zwierciadło, jest w stanie oddziaływać na przewodnik wtórny. Zjawisko posiada zupełną analogię z rozjaśnianiem ciemnego pola widzenia, wytworzonego przez dwa skrzyżowane nikole, przez wsunięcie płytki turmalinowej w odpowiedni położeniu.

Niechaj mi będzie wolno dodać tu jeszcze jedną uwagę,

dotyczącą polaryzacji. Dotychczasowe środki badania pozwalają nam rozpoznawać tylko siłę elektryczną. Gdy drgania pierwotne są skierowane pionowo, to i drgania siły elektrycznej odbywają się w płaszczyźnie pionowej, przechodzącej przez kierunek promienia; w płaszczyźnie pionowej niema ich wcale. Lecz, opierając się na doświadczeniu, zdobytem w dziedzinie prądów powolnie zmiennych, nie mamy wątpliwości, że drganiom elektrycznym towarzyszą drgania siły magnetycznej, które mają miejsce w płaszczyźnie poziomej, przechodzącej przez kierunek promienia, a zanikają w płaszczyźnie pionowej. Polaryzacja nie polega więc bynajmniej na tem, że drgania odbywają się w płaszczyźnie pionowej, lecz raczej na tem, że drgania w płaszczyźnie pionowej są natury elektrycznej, a drgania w płaszczyźnie pionowej natury magnetycznej.

Odbicie.

Że fale odbijają się od powierzchni przewodzących, dowiedliśmy zapomocą interferencji fali odbitej z falą padającą, nadto posługiwaliśmy się już odbiciem przy budowie naszych zwierciadeł wklęsłych. Obecnie możemy jednak oddzielić jedną falę od drugiej. W obszernym pokoju ustawiłem oba zwierciadła obok siebie, tak, że otwory znajdowały się po tej samej stronie, a osie przecinały się w odległości mniej więcej 3 m. przed nimi. Rzecz oczywista, że iskiernik zwierciadła odbierającego iskier nie dawał. Teraz ustawiłem w punkcie przecięcia osi płaską ściankę pionową z cienkiej blachy cynkowej, wysoką i szeroką na 2 m.; jej płaszczyzna była prostopadła do dwusiecznej kąta, jaki tworzyły osie zwierciadeł. Otrzymałem żywy potok iskier, wzbudzanych przez promienie, odbite od ścianki. Iskry gasły, skoro obracano ściankę o 15° w jedną lub w drugą stronę od położenia właściwego; odbicie jest więc prawidłowe i rozpraszanie przy niem nie występuje...

Dotąd linie ogniskowe zwierciadeł stały pionowo, zatem płaszczyzna drgań była prostopadła do płaszczyzny padania. Chcąc mieć odbicie, przy którym drgania odbywałyby

się w płaszczyźnie padania, ustawiłem linie ogniskowe obu zwierciadeł poziomo. Obserwowałem to samo zjawisko, co i w położeniu poprzednim, i nie mogłem dostrzedz najmniejszej różnicy w natężeniu promienia odbitego w obu wypadkach...

Załamanie.

Chcąc się przekonać, czy przy przechodzeniu promieni z powietrza do innego ośrodka izolującego da się wykazać zjawisko załamania, kazałem sporządzić duży pryzmat z masy asfaltowej. Podstawę pryzmatu stanowił trójkąt równoramienny, o ramionach wynoszących 1,2 m. i kącie łamiącym około 30° . Wysokość pryzmatu, którego krawędź łamiąca była ustawiona pionowo, wynosiła 1,5 m.; ponieważ jednak pryzmat ważył około 12 centnarów ⁶⁾ i byłby trudny do poruszania w całości, przeto utworzono go z trzech części, nakładanych jedna na drugą, każda o wysokości 0,5 m. Masa była wlewana w skrzynki drewniane, których nie zdejmowałem z masy, ponieważ, jak się okazało, nic nie przeszkadzały...

Zwierciadło wysyłające ustawiono w odległości 2,6 m. od pryzmatu, tak zwrócone w stronę jednej z powierzchni łamiących, że promień środkowy był skierowany możliwie dokładnie na środek ciężkości pryzmatu i padał na powierzchnię łamiącą pod kątem 65° , licząc od strony powierzchni tylnej. Przy krawędzi łamiącej i przy powierzchni naprzeciwległej ustawiono dwie zasłony przewodzące, które odcinały promieniom wszelką drogę, nie wiodącą przez pryzmat. Po stronie promienia wychodzącego nakreślono na podłodze koło o promieniu 2,5 m., którego środek stanowił środek ciężkości podstawy pryzmatu. Wzdłuż tego koła przesuwało zwierciadło odbierające tak, aby otwór jego był zawsze zwrócony ku środkowi koła. Gdy zwierciadło ustawiono początkowo na przedłużeniu promienia padającego, iskier w niem nie otrzymano; w tym kierunku pryzmat rzucał zupełny cień. Ale iskry zaczęły występować, gdy zwierciadło przesunięto ku tylnej powierzchni pryzmatu i to wówczas

dopiero, gdy odchylenie kątowe od położenia początkowego wynosiło około 11° . Potok iskier wzrastał aż do odchylenia mniej więcej o 22° , poczem słabł znowu. Ostatnie iskry dały się widzieć mniej więcej przy 34° odchylenia. Gdy ustawiono zwierciadło w kierunku najsilniejszego działania, a następnie odsuwano je wzdłuż promienia koła, to iskry można było wysledzić jeszcze na odległości 5 — 6 m.... Kątowi łamiącemu $= 30^\circ$ i odchyleniu o 22° w pobliżu położenia najmniejszego odchylenia odpowiada współczynnik załamania 1,69. Optyczny współczynnik załamania dla ciał smołowatych wynosi 1,5 i 1,6. Niedokładność moich pomiarów i nieczystość użytego materiału nie pozwala przypisywać większego znaczenia wielkości tej różnicy ani jej kierunkowi. *)

Badanym przez nas tworom nadaliśmy nazwę promieni elektrycznych; obecnie możemy je chyba określić jako promienie świetlne o bardzo długiej fali. Dla mnie przynajmniej zdają się przytoczone doświadczenia najzupełniej usuwać wątpliwości co do tożsamości światła, ciepła promienistego i rozchodzenia się fal elektrodynamicznych. Zdaje mi się, że można teraz bez wahania wyciągać korzyści, jakie z założenia tej tożsamości płyną zarówno dla dziedziny optyki, jak i dla nauki o elektryczności.

Metody Hertz'a udoskonalili głównie Righi, używając jako przewodnika pierwotnego (wibratora) dwóch kul mosiężnych, których zwrócone ku sobie części zanurzone są w naftcie lub oleju; bieguny cewki łączą się nie wprost z temi kulami, lecz z dwiema innymi B i B^1 (fig. 26); iskry biją z tych kul na kule wibratora A i wyzwalają w nim drgania elektryczne.

Dogodniejszym i czulszym od obwodu wtórnego Hertz'a jako przyrząd do wykrywania obecności fal elektromagnetycznych okazał się t. z. koherer, odkryty w r. 1891 przez Branly'ego; działanie jego polega na zmniejszeniu oporu elektrycznego opitek metalowych pod wpływem fali

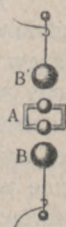


Fig. 26.

*) Pp. Oliver'owi Lodge i Howard'owi udało się nawet wykazać załamanie i skupienie promieni elektrycznych zapomocą wielkich soczewek (Phil. Mag. 1889).

elektrycznej; działanie tego przyrządu do dziś nie jest w zupełności wyjaśnione, pomimo dużej ilości badań i hipotez, poświęconych tej sprawie.

Zasługą Marconi'ego jest zastosowanie fal elektrycznych do celów praktycznych t. zw. telegrafii bez drutu czyli iskrowej, która ze strony innych wynalazców doznała licznych udoskonaleń; sygnały jej wysyłane z Europy mogą być chwytańe na drugim brzegu Oceanu Atlantyckiego. Przyrządy, używane do tego celu nie różnią się zasadniczo od aparatów Hertz'a, Righi'ego i Branly'ego, tylko udoskonalenia techniczne i potężne ilości energii, używane do wzbudzania drgań elektrycznych, stanowią o tak olbrzymich odległościach, w jakich dają się jeszcze chwytać sygnały telegrafu iskrowego.

UWAGI.

¹⁾ (Str. 181). Porównaj: Witkowski „Zasady fizyki“ T. III, str. 609.

²⁾ (Str. 181). Poincaré znalazł błąd w obliczeniach Hertz'a, wskutek czego należy przyjąć jedną stumilionową sekundy jako wartość prawdziwą, Hertz l. c. str. 287, przyp. 6 i 13.

³⁾ (Str. 182). W politechnice w Karlsruhe.

⁴⁾ (Str. 186). Kierunek siły elektrycznej jest pionowy, więc indukcja odbywa się przeważnie w punktach przewodnika (fig. 25), leżących na końcach średnicy poziomej. Jeśli przewodnik jest przerywany właśnie w jednym z tych punktów, to z pod wpływu indukcji usunięto część przewodnika w miejscu, w którym działanie jej jest największe. Wskutek tego strona przeciwległa przewodnika zyskuje przewagę. Zdaje się, że to właśnie miał na myśli Hertz, mówiąc o „warunkach bardziej pomyślnych“, w jakich się ta strona znajduje. Rysunki na fig. 25 wyobrażają te położenia, w których „siła większa działa w warunkach bardziej sprzyjających“; leżą one pomiędzy węzłami i strzałkami fali elektrycznej.

⁵⁾ (Str. 186). Płaszczyzna krążka jest tu wciąż jeszcze pionowa, lecz prostopadła do płaszczyzny rysunku; iskry przeskakują najlepiej wtedy, gdy meta iskrowa ma kierunek zgodny z siłą elektryczną, t. j. gdy iskiernik leży na końcu średnicy poziomej.

⁶⁾ (Str. 194). Centnar metryczny = 50 kg. = 122,1 funtów

Prądy konwekcyjne.

Z artykułu prof. Eichenwald'a *) czerpiemy następujący rys historyczny badań nad prądami konwekcyjnymi:

„Pytanie, czy konwekcji elektrycznej towarzyszy wogóle pole magnetyczne, znajdujemy już u M. Faraday'a, który pisze: „Trzy zupełnie różne rodzaje rozbrojeń: przewodnictwo, elektroliza i rozbrojenie przez iskrę, zgadzają się z sobą w tym punkcie, że wywołują ważne zjawisko magnetyzmu poprzecznego. Czy i konwekcja czyli rozbrojenie konwekcyjne sprawia to samo zjawisko, tego jeszcze nie sprawdzono, a kilka doświadczeń, które dotąd zdążyłem wykonać, nie pozwala mi na udzielenie na to pytanie odpowiedzi twierdzącej.“¹⁾

Również J. C. Maxwell interesował się tem zagadnieniem i podał nawet metodę doświadczalną, która, według jego przybliżonych obliczeń, pozwoliłaby na dostrzeżenie działania magnetycznego naboju poruszanego...²⁾

Takie doświadczenie, jak wiadomo, po raz pierwszy przedsięwziął i pomyślnie przeprowadził w r. 1876 H. A. Rowland w pracowni H. von Helmholtz'a.

W dalszym ciągu kwestya ta doznała osobliwego losu. Tak np. W. C. Röntgen (1890) mógł potwierdzić doświadczenia Rowland'a, zaś E. Lecher (1889) uczynić tego nie

*) Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik. T. V, 1908.

zdołał; Himstedt (1889 i 1890) oraz Rowland i Hutchinson (1889) *) udoskonalili metodę doświadczeń i otrzymali zgodne wyniki dodatnie; natomiast V. Crémieu (1900—1902) napróżno starał się wykazać działanie magnetyczne konwekcji elektrycznej różnymi sposobami — wprost lub pośrednio. Wreszcie wyniki doświadczeń całego szeregu obserwatorów, jak H. Pender'a (1903), E. P. Adams'a (1901), H. Pender'a i V. Crémieu (1903), N. V. Karpen'a (1904), F. Himstedt'a (1904) oraz moje własne badania (1901—1908) usunęły wszelkie wątpliwości co do istnienia zjawiska Rowland'a.

Należy tu jednak zauważyć, że pierwsze badania na tem polu, nawet uwieńczone wynikami dodatnimi, nie rozwiązały wielu kwestyi, dotyczących konwekcji elektrycznej, nadto uwidoczniły one niektóre zjawiska uboczne, których teorya wyjaśnić nie umiała.

Tak np. Himstedt'owi udało się do tego stopnia wzmocnić działanie magnetyczne dwóch wirujących płyt naelektryzowanych, że mógł obserwować odchylenia igły magnetycznej o 100 mm. przy 3 m. odległości skali. Dokonywał on wówczas tylko pomiarów względnych i stwierdził proporcjonalność natężenia pola magnetycznego do siły prądu konwekcyjnego. Ale ta proporcjonalność sięgała tylko do potencyału 4000 woltów; przy potencyalach wyższych działania magnetyczne były słabsze, niżby to wynikało z prawa proporcjonalności...

H. Rowland i C. T. Hutchinson postawili sobie za zadanie wykonanie możliwie dokładnych pomiarów bezwzględnych... Nie zauważyli oni zjawiska, spostrzeżonego przez Himstedt'a nawet przy wyższych jeszcze potencyalach, sięgających 8000 wolt; zato wyszła na jaw inna okoliczność szczególna: oto, rzecz dziwna, wychylenia igły magnetycznej nie były jednakowe przy zmianie kierunku ruchu, jeśli pozostałe warunki nie uległy zmianie, a ta nierówność nie mogła być przypisana błędowi spostrzeżeń...

*) Ob. niżej.

Tymczasem szereg innych autorów wziął się do tej sprawy. Tak np. Crémieu ogłosił znaczną ilość prac, które jednak zupełnie przeczyły doświadczeniom Rowland'a. Aby się uwolnić od zakłócającego wpływu wirujących płyt naelektryzowanych na magnetometr, Crémieu poszedł inną drogą: nie obserwował wprost pola magnetycznego, lecz prądy indukcyjne, powstające przy zmianie pola magnetycznego, wytworzonego przez nabój, poruszany z szybkością jednostajną, lecz ulegający zmianom w czasie. Prądy indukcyjne były skierowywane w jedną stronę zapomocą komutatora i mierzone zapomocą czułego galwanometru...

Tymczasem Pender, który pracował u samego Rowland'a i używał tej samej metody, co Crémieu, otrzymał wyniki dodatnie i nawet bardzo dokładne.

Na propozycję H. Poincaré'go obaj ci badacze, Pender i Crémieu, spotkali się w Paryżu i wspólnie podjęli badania. Po kilku próbach udało się im otrzymać razem zjawisko Rowland'a, ale znów wystąpiła nowa okoliczność. Mianowicie, gdy obłożono miką ruchomy przewodnik, aby zwiększyć jego izolację, obserwowane działania magnetyczne prądów konwekcyjnych zmniejszyły się; przy dwóch cienkich warstewkach miki działania były dziesięciokrotnie mniejsze, niż bez miki.

Przy doświadczeniach, przedsięwziętych przeze mnie metodą bezpośrednich odchyień magnetycznych, zjawisko to nigdy nie występowało; również N. Karpen, który pracował według metody podobnej do metody Crémieu, nie stwierdził wpływu warstw miki na działania magnetyczne prądów konwekcyjnych, a że z teoretycznego punktu widzenia wpływ tej miki nie daje się wytłómaczyć, więc jestem zdania, że należy go przypisać błędowi doświadczenia. Jest rzeczą bardzo prawdopodobną, że wszystkie wpływy zakłócające, zauważone przez Himstedt'a, Rowland'a i Hutchinson'a, a również przez Pender'a i Crémieu, są spowodowane przez błędy izolacji, wyładowania z ostrzy i t. p....

Dotąd rozumieliśmy zawsze przez nabój poruszany nabój elektryczny przewodnika, czyli „nabój prawdziwy“. Jak się jednak zachowują naboje pozorne, *) indukowane w polu elektrycznym na powierzchni nienaelektryzowanego dielektryku, — czy i one wywołują podczas ruchu pole magnetyczne?

Doświadczenia Röntgen'a (1888) odpowiedziały na to pytanie twierdząco, aczkolwiek tylko jakościowo... Pomiary bezwzględne są tu szczególnie interesujące, gdyż teorie elektromagnetyczne dla ciał w ruchu, a mianowicie teoria Maxwell'a i Hertz'a z jednej, a teoria elektronowa H. Lorentz'a z drugiej strony, właśnie w zastosowaniu do dielektryków prowadzą do wyników niezgodnych.

W pierwszych z wymienionych teorii przypuszcza się mianowicie, że przy ruchu ciał cały wypełniający przestrzeń ośrodek bierze udział w ruchu, że „hypotetycznie we wnętrzu materii istniejący eter porusza się tylko łącznie z nią“. Znane doświadczenie Fizeau z płynącą wodą i współczynnik unoszenia Fresnel'a nie wchodzi w ramy tej teorii... **)

Teoria elektronowa prowadzi wprost do Fresnel'owskiego współczynnika unoszenia i objaśnia doświadczenie Fizeau. Jednocześnie teoria ta wymaga, aby ruchowi dielektryku w polu elektrostatycznym towarzyszyło pole magnetyczne, proporcjonalne do $(\epsilon - 1) E$, ³⁾ a nie do ϵE , jakby to wynikało z Hertz'owskiej teorii eteru, poruszającego się razem z materią...

W ostatnich czasach Pender (1903) użył metody indukcyjnej Crémieu, aby zbadać nią pole dielektryków w ruchu, a więc pole nabojów pozornych, i otrzymał przy różnicy potencjałów 7470 woltów i 57,8 obrotach płyty na sekundę podwójne wychylenie galwanometru o 4,5 mm. Obliczenia, przeprowadzone na podstawie teorii elektro-

*) Ob. Röntgen, str. 212.

**) Ob. Maxwell, uw. 3.

nowej, dały odchylenie o 4,85 mm. Zgodność teorii z doświadczeniem musi być uważana za bardzo dobrą“.

Eichenwald sprawdził słuszność przewidywań Lorentz'a zapomocą doświadczenia, w którym wprawiał w obrót cały kondensator, t. j. dielektryk wraz z okładkami; w ten sposób wytwarzał dwa prądy: konwekcyjny (ruch okładek) i Röntgen'owski (ruch dielektryku) o kierunkach odwrotnych. Ponieważ, według teorii Maxwell'a, gęstość naboju powierzchniowego przewodnika równa się polaryzacji dielektryku na jego granicy, *) przeto wspomniane prądy musiałyby mieć jednakowe natężenia, gdyby cała polaryzacja brała udział w ruchu: to odpowiada poglądom Hertz'a; jego teoria wymaga więc, aby działania obu prądów znosiły się całkowicie. Natomiast z teorii Lorentz'a eteru nieruchomego (ob. uw. 3) wynika, że prąd konwekcyjny jest silniejszy od prądu Röntgen'owskiego w stosunku $\frac{\epsilon}{\epsilon - 1}$, że więc poruszający się kondensator Eichenwald'a powinien działać na igłę magnesową słabiej niż prąd konwekcyjny okładek, lecz w tym samym co i on kierunku. Doświadczenia Eichenwalda potwierdziły to przewidywanie.

*) Ob. Witkowski t. III, str. 57, 98, 182 i dalsze. Wyrażenie polaryzacja jest tam używany dla oznaczenia wyrazu $\epsilon(E-1)$, a na iloczyn ϵE , nazwany polaryzacją przez Maxwell'a, użyto terminu indukcyja elektryczna.

UWAGI.

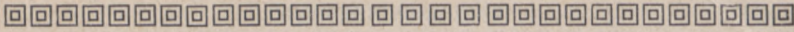
¹⁾ (Str. 197). *Exper. Res.* art. 1657. Faraday przewidywał jednak dodatnie rozstrzygnięcie tego pytania, gdyż w art. 1644 pisze: „Jeśli kulę naelektryzować dodatnio w środku pokoju, a następnie poruszać ją w kierunku dowolnym, to powstaną działania takie same, jakieby wywoływał prąd, płynący w tym samym kierunku“.

²⁾ (Str. 197). *Ob.* str. 157—8.

³⁾ (Str. 200). Jeśli izolator o stałej dielektrycznej ϵ umieścić w polu elektrycznym o natężeniu E , to powstanie w nim polaryzacja, równoległa do pola (w ośrodkach równokierunkowych) o natężeniu ϵE . Różnica w poglądach Hertz'a i Lorentz'a jest następująca:

Hertz przypuszcza, że pole elektryczne istnieje tylko w ośrodku hipotetycznym, eterze, który wypełnia całą przestrzeń pomiędzy cząsteczkami ciał materialnych; nadto zakłada, że eter jest związany z materią i jest przez nią porwany. Jeśli więc izolator wprawiamy w ruch, to i całkowita polaryzacja bierze udział w tym ruchu. Powstawanie pola magnetycznego w izolatorach jest wogóle związane ze zmianami polaryzacji, a w tym szczególnym wypadku natężenie wzbudzonego pola powinno być proporcjonalne do iloczynu wartości polaryzacji ϵE przez szybkość ruchu v .

Lorentz uważa eter za nieruchomy oraz zakłada, że obok polaryzacji eteru zachodzi i polaryzacja samej materii, polegająca na przesunięciu, jakiego pod wpływem pola doznają elektrony, związane z atomami materii. Polaryzacja eteru równa się natężeniu pola elektrycznego E , więc polaryzacja materii wynosi $\epsilon E - E = E(\epsilon - 1)$. W ruchu izolatora bierze udział tylko ten drugi składnik, to też prąd elektryczny, równoważny temu ruchowi, powinien być proporcjonalny do $E(\epsilon - 1)$.



HENRYK AUGUST ROWLAND.

(ur. w r. 1848).

Rowland był profesorem w uniwersytecie John'a Hopkins'a w Baltymorze (Stany Zjednoczone). Poza odkryciem prądów konwekcyjnych wstawił się ulepszeniem siatek dyfrakcyjnych; nacinał je nie na powierzchniach płaskich, lecz na wewnętrznych powierzchniach cylindrycznych metalowych, równoległe do osi cylindra. Siatki takie pozwalają otrzymać rzeczywisty obraz widma bez uciekania się do soczewek, niezbędnych przy siatkach płaskich. Siatki wykonane przez Rowland'a odznaczają się wielką gęstością i równością nacięć (1700 na 1 mm.); zapomocą nich Rowland dokonał wspaniałych pomiarów długości fali w obrębie widma słonecznego; jego atlas daje widmo słoneczne, rozciągnięte na długości 10 m.

O działaniu elektromagnetycznym prądów konwekcyjnych
przez prof. Henryka A. Rowland'a i C. T. Hutchinson'a. *)

...Myśl o możliwości działania magnetycznego prądów konwekcyjnych nasunęła się prof. Rowland'owi w r. 1868 i została zaprotokołowana w notatniku jego pod tąż datą.

Do pierwszego ze swych doświadczeń, wykonanego w Berlinie w r. 1876, prof. Rowland używał tarczy kauczukowej poziomej, pokrytej złotem po obu stronach i poruszającej się pomiędzy dwiema kondensującymi płytami szklanymi (wyzłoczonemi). Każda zbroja tarczy tworzyła kondensator z bliższą jej powierzchnią szkła; obie powierzchnie tarczy były nabite do tego samego potencjału. Igła (magnesowa) była umieszczona prostopadle do promienia tarczy ponad górną płytą kondensującą i prawie ponad brzegiem tarczy. Średnica tarczy kauczukowej wynosiła 21 cm., a szybkość 61 ¹⁾ na sekundę.

Układ ²⁾ igieł był doskonale zabezpieczony od bezpośrednich działań elektrostatycznych. Gdy zmieniano znak elektryzacyi, powstawały odchylenia od 5 do 7,5 mm., choć stosowano wszelkie środki ostrożności w celu uchronienia się od możliwych błędów. Dokonano pomiarów i wartość odchyień obserwowanych zgadzała się zupełnie z wartością

*) „On the elektromagnetic Effect of Convection-Currents“. Philos. Magazin V. 27. Rok 1889.

obliczoną; ale nie zdołano dokonać pomiarów z dokładnością pożądaną, a to doprowadziło do doświadczeń niniejszych...

W przyrządzie berlińskim, powyżej opisanym, igła znajduje się w pobliżu brzegu tarczy; działanie magnetyczne, jak można przypuścić, jest proporcjonalne do gęstości powierzchniowej, pomnożonej przez szybkość liniową; siła będzie więc znacznie większa przy brzegu, niż blisko środka; za to pole jest mniej prawidłowe, co utrudnia ściśle pomiary.

W przyrządzie obecnym jednostajność pola została zapewniona dzięki użyciu dwóch tarcz pionowych, wirujących około dwóch osi poziomych leżących w jednej linii. Układ igieł umieszczono pomiędzy tarczami, nawprost ich środka. Tarcze są ustawione w płaszczyźnie południka, są one położone na powierzchniach, zwróconych ku igle. Pomiedzy tarczami umieszczono dwie płyty szklane kondensujące, położone od strony tarcz; pomiędzy temi płytami znajduje się igła. Cały przyrząd jest symetryczny względem dolnej igły układu astatycznego.

Każda tarcza jest otoczona pierścieniem ochronnym z kauczuku połączanego, w celu utrzymania na krawędziach gęstości jednostajnej. ³⁾ Pierścienie ochronne są zaopatrzone w śrubki regulujące, za pomocą których można je ustawić ściśle w płaszczyźnie tarczy; płyty szklane mają też ze swej strony śrubki w celu utrzymania ich w położeniu równoległym do pierścieni ochronnych. Szkło dobrano starannie tak, aby miało powierzchnię niemal zupełnie płaską. Tarcze, płyty szklane i pierścienie ochronne posiadają nacięcia w kierunku promieni, aby prądy zwykle nie mogły krążyć wkoło zbroi.

Na obwodzie każdej tarczy znajduje się osiem prętów miedzianych, które są wpuszczone w nią w kierunku promieni na głębokość mniej więcej 5 cm., następnie zaginają się pod kątem prostym i biegną równolegle do osi, sięgając do powierzchni tarczy, gdzie stykają się z warstwą złotą. Szczotki metalowe, przytwierdzone do pierścieni ochronnych, spoczywają na tych prętach; tą drogą tarcze są nabijane...

Układ igieł jest zamknięty w rurze mosiężnej, zakończonej u góry obszerniejszą skrzynką mosiężną, zawierającą zwierciadelko i igłę górną... Układ składa się z dwóch małych kostek drewnianych, umieszczonych na drucie glinowym; po dwu stronach każdej kostki umocowano po małym ułamku silnie namagnesowanej sprężyny od zegarka. Otrzymane w ten sposób igły mają około $1 \times 1 \times 10$ mm...

Na obwodzie dwóch pierścieni kauczukowych nacięto wyżłobienia, na które nawinięto druty; służą one jako galwanometr dla oznaczenia stałej charakterystycznej dla igły... Każdy z drutów ma dwa zwoje; będziemy nazywali to urządzenie galwanometrem tarczowym.

Jeśli przez galwanometr tarczowy przepływa prąd o znanym natężeniu i jeśli znamy wymiary geometryczne przyrządu, to ta część stałej, która zależy od pola magnetycznego i od igły, daje się już obliczyć. ⁴⁾

Prąd mierzy się zapomocą busoli wstaw, umieszczonej w drugim pokoju.

Do elektryzowania służyła machina Holtz'a, połączona z baterią sześciu garncowych butelek lejdejskich. Były one włączone w obwód razem z komutatorem, elektrometrem kontrolującym i tarczą.

Potencjał był mierzony zapomocą dużego elektrometru bezwzględneho; wszyscy obserwatorowie poprzedni używali w tym celu długości iskry pomiędzy kulkami, posługując się wzorem Thomsón'a. ⁵⁾ Nasza praca właśnie pod tym względem wymaga większej dokładności...

Obserwacyi dokonywano według następującego przepisu: najpierw określono H ⁶⁾ i stałą igły (β). Następnie łączono elektrometr z określonym miejscem baterii i odczytywano różnice potencjału. Tarczę wprowadzano w ruch, elektryzowano i odczytywano 3 następujące po sobie wychylenia igły; zmieniano znak elektryzacyi i znów odczytywano 3 wychylenia i t. d.

Mniej więcej co 5 minut odczytywano szybkość obrotu, a przy każdej zmianie znaku trzeba było uzupełniać nabój,

aby utrzymać wskazówkę elektrometru kontrolującego ściśle w tem samym wychyleniu. W ten sposób szereg pomiarów składa się mniej więcej z 25 zmian znaku. Po ukończeniu szeregu odczytywano znów elektrometr, zmieniano w pewien sposób warunki i zaczynało nową seryę.

Warunkami podlegającymi zmianie były: odległość tarczy od igły; odległość płyt szklanych od igły; stopień naelektryzowania; kierunek obrotu.

Rachunek opierał się na przypuszczeniu, że działanie magnetyczne naboju wirującego jest proporcjonalne do ilości elektryczności, przechodzącej przez każdy punkt w ciągu sekundy, zupełnie tak, jak w prądzie przewodzonym...

Pierwszej obserwacji systematycznej dokonano w styczniu 1889 z tarczą naelektryzowaną i doziemionymi płytami. Odchylenie przy zmianie znaku otrzymano bez trudu; wystąpiło ono w kierunku oczekiwanym, to znaczy, że przy naboju dodatnim działanie było zgodne z działaniem prądu w kierunku ruchu tarczy. W ciągu następnych dwóch miesięcy dokonano szeregu obserwacji; zgadzały się one dobrze pomiędzy sobą, ale nie były zgodne z prawem, którego słuszność przypuszczaliśmy.

Obliczenie wykazuje, że wychylenie powinno być niezależne od odległości pomiędzy tarczą a płytą szklaną; tymczasem okazało się ono proporcjonalnem do tej odległości.

Doszliliśmy wreszcie, że jest to spowodowane przez nabój odwrotnej strony zbroi złotej. Koniec osi dochodzi blisko powierzchni tarczy i łącznie z częściami mosiężnymi musi tworzyć z powierzchnią wewnętrzną warstwy złota kondensator o pewnej pojemności.

Należało więc zmienić metodę postępowania; trzeba było tarczę doziemić, a elektryzować płyty szklane. Tak się też stało; ale teraz okazało się, że wychylenia są większe przy obrocie dodatnim (zenit, północ, nadir, południe), niż przy obrocie ujemnym.

Przypuszczaliśmy, że przyczyną tego są szczotki, więc je usunięto, a połączenia tarczy z osią dokonano w ten sposób, że tarczę przewiercono na wylot w kierunku osi, i umie-

szczono tam śrubę, która dotykała powierzchni tarczy, oraz łączyła się z osią; to, co prawda, nie spowodowało żadnej różnicy — odchylenie przy obrocie ujemnym było zawsze mniejsze. ⁷⁾

Tablica I podaje wyniki pewnej liczby obserwacji. Wszystkie otrzymano z naelektryzowanymi płytami i tarczami doziemionymi za pośrednictwem osi.

Znaczenie liter jest następujące.

X = odległości środka tarczy od niższej igły.

e = " tarczy od płyty szklanej.

N = liczbie obrotów na sekundę.

δ = gęstości powierzchniowej naelektryzowania, wyrażonej w jednostkach elektrostatycznych.

$1/\beta$ = jest wprost proporcjonalne do czułości igły.

Δ = kątowni odchylenia.

V = stosunkowi jednostek elektrycznych.

Nagle zmiany $1/\beta$ pochodzą od umyślnie w tym celu poczynionych zmian w igle.

Ostatnia kolumna podaje wartości V . ⁸⁾ Praca nasza nie miała na celu określenia V , a rachunek wykonano jedynie dla tego, aby ocenić stopień dokładności, z jaką zjawisko odpowiada przewidywanemu prawu...

TABLICA I.

Nr	Obrót	X	e	N	δ	$1/\beta$	2Δ mm.	V
1	+	2,54	1,24	122	1,16	$1,50 \cdot 10^5$	5,3	$2,42 \cdot 10^{10}$
2	+	2,57	"	125	1,30	3,11	9,0	3,38
3	+	"	"	129	1,23	2,15	6,94	3,00
4	-	"	"	129	1,11	"	5,58	3,68
5	+	"	1,21	127	1,21	2,25	5,6	3,74
6	-	"	"	133	1,21	"	5,7	3,74
7	+	"	"	130	1,48	"	8,4	3,10

N ^o	Obrót	X	e	N	ε	$1/\beta$	2Δ mm.	V
8	—	2,57	1,21	133	1,47	2,25	7,3	3,64
9	+	"	1,24	121	1,32	2,23	9,4	2,26
10	—	"	"	130	1,32	"	7,2	3,16
11	+	"	"	125	1,26	2,17	7,6	2,70
12	—	"	"	126	1,26	"	5,7	3,64
13	+	2,85	1,50	125	1,19	2,23	6,5	2,82
14	—	"	"	129	1,19	"	5,0	3,78
15	—	"	"	125	1,11	2,19	5,85	2,82
16	+	"	1,43	127	1,08	2,35	7,3	2,46
17	—	"	"	128	1,08	"	5,4	3,32
18	—	"	"	129	1,08	"	5,3	3,42
19	+	3,22	1,80	123	1,13	2,24	5,1	3,30
20	—	"	"	124	1,13	"	4,9	3,48
								3,19.10 ¹⁰

Tablica wskazuje, że, za wyjątkiem jednego wypadku, odchylenie przy obrocie ujemnym jest widocznie mniejsze, niż odchylenie, odpowiadające obrotowi dodatniemu...

Wartości dla V nie są z sobą zgodne w tym stopniu, w jakim można było tego oczekiwać; jeśli jednak, oprócz licznych wymienionych już trudności, uwzględnić małą wielkość odchyień oraz możliwość, że na igłę działały prądy lub magnesy w innych częściach pracowni tak oddalonych, że ustrzedz się od nich było niepodobna, a które mogły ulegać zmianom w czasie pomiędzy dokonywaniem obserwacji a określaniem czułości igły; jeśli wreszcie uwzględnić, że jakaś przyczyna zakłócająca działała tu niewątpliwie, — to zgodność możemy uważać za tak wielką, jak się tego można było słusznie spodziewać.

UWAGI.

¹⁾ (Str. 204). Autorowie nie podają jednostek; prawdopodobnie szybkość jest wyrażona w liczbie obrotów.

²⁾ (Str. 204). Układ astatyczny, por. Ampère, zyciorys.

³⁾ (Str. 205). Rozmieszczenie elektryczności na okładkach kondensatora i wogóle na przewodnikach płaskich nie jest jednostajne; wiadomo, że gęstość powierzchniowa elektryczności na przewodniku jest większa w miejscach bardziej zakrzywionych, a mniejsza w mniej zakrzywionych, na ostrej krawędzi przewodnika płaskiego będzie więc większa niż na płaskiej części środkowej. Aby uniknąć tej niedogodności, Sir Wiliam Thomson wprowadził t. zw. pierścienie ochronne; taki pierścień z płaskiej płyty metalowej (lub blachy) otacza okładkę kondensatora płaskiego tak, że pomiędzy nimi pozostaje tylko bardzo wązka szpara, a powierzchnie okładki i pierścienia leżą w jednej płaszczyźnie. Okładka i pierścień łączą się z sobą metalicznie (np. zapomocą cienkiego drucika), mogą być więc uważane za jeden przewodnik, którego krawędź będzie stanowił zewnętrzny obwód pierścienia; ponieważ wszystkie punkty okładki są dostatecznie oddalone od tego brzegu, więc gęstość w nich będzie jednostajna. Pole pomiędzy dwiema okładkami, zaopatrzonymi w podobne pierścienie ochronne, jest też jednostajne; bez ich użycia jednostajność ustaje w pobliżu krawędzi. Ob. Witkowski, t. III, str. 140.

⁴⁾ (Str. 206). Galwanometr tarczowy działa tu podobnie do busoli stycznych; stała jego będzie równa $b \cdot H \frac{M_1 - M_2}{M_1}$, gdzie H oznacza składową poziomą magnetyzmu ziemskiego, M_1 moment magnetyczny igły dolnej, M_2 — igły górnej, b — stałą, zależną od stosunków geometrycznych. Układ jest tem czulszy, im M_1 jest bliższe M_2 .

⁵⁾ (Str. 206). Zależność różnicy potencjałów V przewodników kulistych od dalekości bicia iskry pomiędzy nimi daje się w przybliżeniu wyrazić wzorem, wprowadzonym przez W. Thomson'a: $V = a + bd$. Ścisłejsze są tablice empiryczne, zawierające wartości V dla rozmaitych odległości d i rozmaitych rozmiarów przewodników (ob. Witkowski, t. III, str 195). Zapomocą interpolacji można oliczać V dla każdego d ; w ten sposób mierzy się często wysokie napięcia, gdy wielka dokładność pomiaru nie jest potrzebna, gdyż w metodzie tej tkwią źródła znacznych błędów.

⁶⁾ (Str. 206). $H =$ składowej poziomej magnetyzmu ziemskiego.

⁷⁾ (Str. 208). Inni badacze nie znaleźli tej różnicy, Eichenwald przypisuje ją jakiejś niedokładności przyrządu (ob. str. 188 i 189).

⁸⁾ (Str. 208). Inne metody określania tego stosunku oraz jego teoretyczne znaczenie ob. u Maxwell'a, str. 157 i dalsze.

WILHELM KONRAD RÖNTGEN. *)**O sile elektrodynamicznej wywołanej przez ruch dielektryku, umieszczonego w polu elektrycznym jednostajnym. **)**

Komunikat niniejszy zawiera znalezioną na drodze doświadczalnej odpowiedź na pytanie następujące: Czy ruch dielektryku, umieszczonego w polu stałym i jednostajnym, nie unoszącego żadnego naboju prawdziwego, może wytworzyć siłę elektrodynamiczną?

Najpierw pragnąłbym wykazać, że uzyskanie na tej drodze działania elektrodynamicznego jest możliwe. Wyobraźmy sobie dwie płyty kondensatora równoległe, (poziome), płaskie, nieskończenie wielkie, którym udzielono pewnej różnicy potencjału; niechaj warstwa izolująca, oddzielająca płyty, porusza się prostopadle do linii sił, w kierunku prostym, z szybkością stałą. Przypuśćmy następnie, że ośrodek, w którym zachodzi polaryzacja dielektryczna, ¹⁾ bierze udział w ruchu tej warstwy; wówczas warstwa owa musi się na zewnątrz zachować elektrodynamicznie tak, jak

*) Zyciorys Röntgen'a ob. w rozdziale: Jony i elektrony.

**) „Ueber die durch Bewegung eines im homogenen electrischen Felde befindlichen Dielectricums hervorgerufene electrodynamicische Kraft.“ Wiedemann's Annalen. Bd. XXXV. Rok 1888.

dwie nieruchome powierzchnie prądów elektrycznych, które możemy w myśli umieścić na górnej, względnie dolnej powierzchni warstwy granicznej, a przez które przepływają prądy stałe o jednakowym natężeniu: przez jedną w kierunku ruchu, przez drugą w kierunku przeciwnym.

Jeśli np. płyta górna jest nabitą do potencjału wyższego, niż dolna, to prąd równoważny na dolnej powierzchni granicznej musi być uważany za płynący w kierunku ruchu.

Najprościej można dowieść słuszności tych rozważań, jeśli uważać dielektryk za złożony z cząsteczek spolaryzowanych; wówczas przyczyny siły elektrodynamicznej należy poszukiwać w ruchu biegunów elektrycznych. ²⁾ Ale Maxwellowska teoria przesunięć elektrycznych prowadzi do tego samego wniosku.

Pozwolę sobie przytoczyć dwa doświadczenia, wykonane w celu zbadania tej sprawy:

Okrągłą tarczę szklaną (lub kauczukową) wprawiałem w obrót pomiędzy dwiema poziomymi płytami kondensatora; górna płyta była stale doziemiona, a dolną można było nabijać elektrycznością dodatnią lub ujemną, pobraną ze źródła elektryczności. Tuż ponad górną płytą wisiała jedna z dwóch igieł magnetycznych, tworzących bardzo czuły układ astatyczny; kierunek jej był prostopadły do promienia tarczy, a środek znajdował się ponad tarczą, blisko jej krawędzi. Zapomocą lunety, zwierciadła i skali można było obserwować odchylenia igły, jakie miały występować przy zmianie znaku naboju kondensatora.

Przy doświadczeniach tych okazało się, że każdej zmianie znaku towarzyszyło odchylenie igły skierowane tak, jak gdyby został zmieniony kierunek prądu urojonego, skierowanego jak powyżej wyłuszczone. Działanie biegunów dodatnich odpowiadało działaniu prądów, skierowanych tak, jak ruch, działanie biegunów ujemnych — działaniu prądu przeciwnego kierunkowi ruchu. Jeśli pominąć inne, łatwe do zbiccia zarzuty przeciw tym doświadczeniom, jak ten np., że odchylenia igły mogły być wywołane przez prądy rzeczywiste, powstające w płytach kondensatora, to pozostanie je-

den jeszcze zarzut, o którym należy wspomnieć osobno i który należy usunąć. Brzmi on tak: Jeśli tarcza wiruje pomiędzy silnie nabitemi płytami kondensatora, to jest rzeczą możliwą, że będzie zwolna nabierała naboju rzeczywistego, bądź to wskutek własnego, aczkolwiek małego przewodnictwa, ³⁾ bądź to przez bezpośrednie pobieranie elektryczności z kondensatora. Ruch tych nabojów, jak to wykazał Rowland, wpływałby elektrodynamicznie na igłę, i temu działaniu możnaby przypisać odchylenia, obserwowane przy moich doświadczeniach.

Chcąc być pewnym, że wynik dokonanych spostrzeżeń nie da się sprowadzić do tych znanych już zjawisk, wykonałem doświadczenie z kondensatorem, którego płyta dolna była podzielona na dwie, odizolowane od siebie połowy, które elektryzowano jednocześnie, lecz odwrotnie; środek igły znajdował się ponad tem miejscem płyty wirującej, przez który przechodził promień, prostopadły do linii podziału połówek kondensatora. Ponieważ obrót był szybki, więc o naboju powstającym wskutek przewodnictwa nie mogło już być mowy; że elektryczność nie przepływała również na tarczę z kondensatora, tego dowodziła obserwacja, że wychylenia dwóch elektrometrów, połączonych każdy z inną połową kondensatora, nie zmieniły się pomiędzy jedną a drugą zmianą znaku.

Przy tem urządzeniu również otrzymałem w chwili zmiany znaku odchylenia igły, naogół takie same.

Można więc uważać za fakt doświadczalnie dowiedziony, że ruch dielektryku, który znajduje się pod wpływem nabojów statycznych, może wzbudzić siły elektrodynamiczne...

Rozmiary przyrządu, użytego do doświadczeń z kondensatorem niepodzielonym, były następujące:

Średnica tarczy wirującej	10,0 cm.
Grubość „ „	0,35 „
Odległość „ „ od górnej okładki kondensatora	0,14 „

Odległość tarczy wirującej od dolnej okład-	
ki kondensatora	0,25 cm.
Średnica okładek	20,0 „

Różnica potencjału pomiędzy okładkami odpowiadała 0,3 cm. długości iskry w powietrzu pomiędzy kulkami o średnicy 2 cm. ⁴⁾

Liczba obrotów wynosiła około 100 na sekundę.

Odchylenia przy zmianie znaku sięgały 2 do 3 podziałek (milimetrów).

Odległość zwierciadła od skali była równa 229 cm.

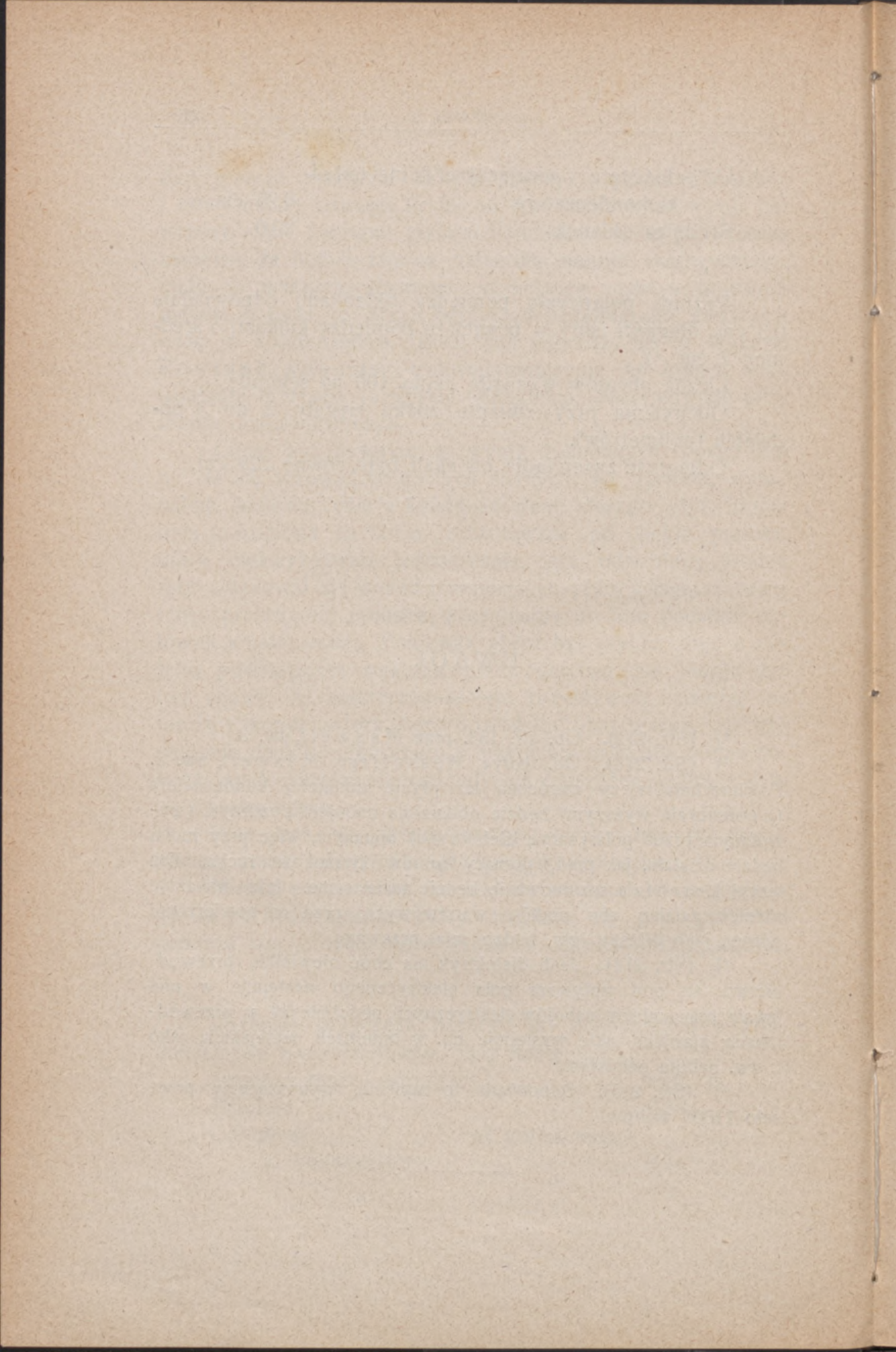
UWAGI.

¹⁾ (Str. 212). Ob. str. 153. oraz Maxwell, uw. 3.

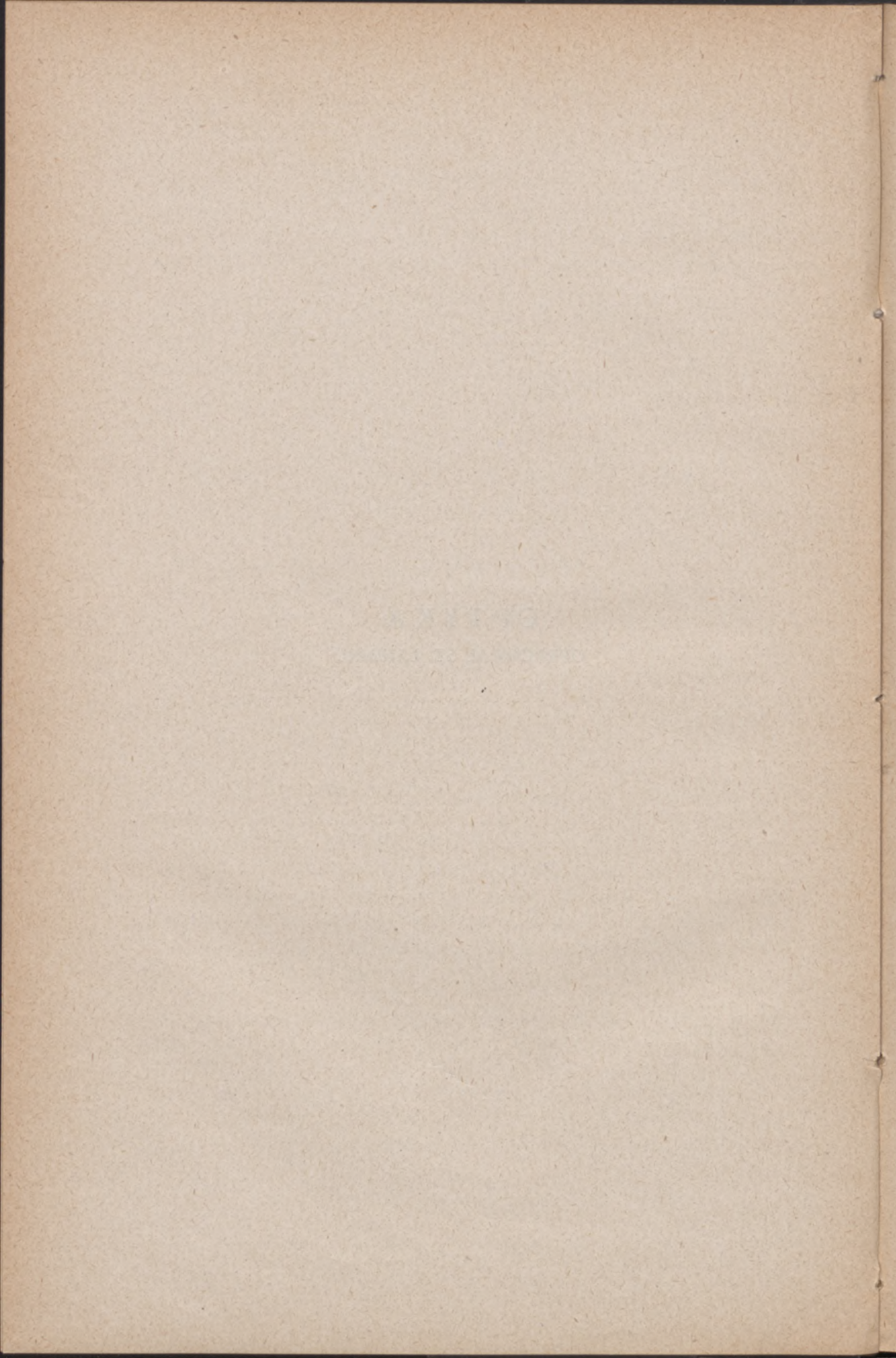
²⁾ (Str. 213). Ob. teorię Mossoti'ego, Maxwell, uw. 3. Powierzchnia tarczy zwrócona ku płycie dodatniej kondensatora (o potencjale wyższym) będzie obdarzona nabojem pozornym (wywołanym przez polaryzację dielektryku) ujemnym, więc przy ruchu będzie działała, jak prąd, płynący wbrew kierunkowi ruchu. Dla teorii Lorentz'a rozumowanie będzie takie same. Igła wskazuje różnicę działań obu prądów warstwowych, prąd na powierzchni górnej, jako bliższy igły, będzie miał przewagę.

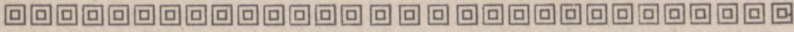
³⁾ (Str. 214). Jeśli dielektryk ma choć niewielkie przewodnictwo, to pod wpływem pola elektrycznego następuje w nim trwałe przesunięcie nabojev elektrycznych, podobnie jak w przewodnikach; zjawisko takie występuje np. w butelkach lejdejskich, jako t. zw. naboje pozostałe.

⁴⁾ (Str. 215). Odpowiada to napięciu, wynoszącemu przeszło 11000 woltów.



OPTYKA.
OPRACOWAŁ ST. LANDAU.





CHRYSTYAN HUYGENS. *)

(1629 — 1695).

Ojciec Chrystyana, Konstanty Huygens, był wybitnym mężem stanu holenderskim, doradcą księcia Fryderyka Henryka Orańskiego. Obdarzony wielkimi i różnorodnymi zdolnościami, zajmował się literaturą wszelkich czasów i narodów, muzyką, malarstwem, matematyką i mechaniką. Życie pędził bądź w obozie, bądź w licznych poselstwach; w chwilach wolnych pisał utwory poetyckie tak w języku holenderskim, jako też po łacinie. Śród spóczesnych liczył wielu zapalonych miłośników swych poezyi.

Konstanty Huygens sam się zajmował początkowem nauczaniem swych dwóch synów. Suma wiadomości, które musieli sobie przyswoić chłopcy, jest zadziwiająca. W ósmym roku życia uczył się Chrystyan łaciny, a, mając lat dziewięć, biegle władał tym językiem. Uczono dalej geografii, sposobu użycia globusu i wymierzania czasu wschodu i zachodu słońca w różnych porach roku; uzupełniał tę naukę śpiew. W dziesiątym roku życia ćwiczano Chrystyana w układaniu wierszy łacińskich i grze na skrzypcach; w jedenastym uczono go gry na lutni, a w dwunastym—logiki. Najwięcej trudności sprawiało mu układanie łacińskich wierszy. Dla przyszłego uczonego nastąpiły szczęśliwsze czasy, kiedy obok łaciny, greckiego, francuskiego, włoskiego i gry na klawikordzie zaczęto go

*) Przy układaniu tego szkicu korzystaliśmy z życiorysu Huygens'a, który podał J. Bosscha, wybitny fizyk holenderski, sekretarz Holenderskiej Akademii Nauk, w przemówieniu swem w czasie obchodu 200-letniej rocznicy śmierci Huygens'a. J. Bosscha „Christian Huygens”, Leipzig, Verlag von W. Engelmann, 1895.

uczyć mechaniki. Wszystkie chwile wolne poświęcał on wówczas sporządzaniu modeli i zęczność swą posunął w krótkim czasie tak daleko, że w ciągu roku zbudował tokarnię.

Gdy w następnych lafach posiadał jeszcze matematykę, sztukę konnej jazdy i tańca, uznano go za dojrzałego i w 16-tym roku życia posłano na Uniwersytet w Lejdzie, gdzie został zapisany jako studiosus juris (student prawa). Uczył się w Lejdzie, oprócz prawa, też i ulubionej matematyki od van-Schooten'a, dzielnego matematyka, który korespondował z wieloma ówczesnymi wybitnymi matematykami; między innymi, był zaprzyjaźniony z Kartezjuszem i Mersenne'm. *)

Jedno z wypracowań matematycznych Huygens'a posłał van Schooten Descartes'owi, który od razu umiał ocenić talent przyszłego uczonego. W jednym z listów swych pisał Kartezjusz: „Niedawno profesor Schooten przysłał mi wypracowanie drugiego syna pana na Zuilichem, dotyczące pewnego odkrycia matematycznego; choć nie osiągnął on jeszcze zamierzonego celu, wziął się jednak do rzeczy takim sposobem, iż to mnie upewnia, że będzie doskonałym w tej nauce.“ Z Lejdy przeniósł się Huygens do uniwersytetu w Bredzie, a w kilka lat później wydał pierwsze swe dzieło o „Kwadraturze hyperboli, elipsy i koła“ (1651). Następnie ukazały się jego dalsze prace matematyczne; w roku 1656 ogłosił on pracę „O rachunku w grach losowych“, gdzie po raz pierwszy zostały systematycznie wyłożone zasady rachunku prawdopodobieństwa. Równocześnie dojrzały odkrycia Huygens'a w dziedzinie mechaniki. Stwierdzono, że już w roku 1656 znane mu były prawa zderzenia się ciał, które później dopiero ogłosił; wkrótce też dał Huygens dwa nowe prawa mechaniki: prawo zachowania ruchu środka ciężkości i prawo zachowania zdolności do pracy przy ruchu ciał.

Zajmowały Huygens'a jednocześnie zagadnienia astronomiczne. Przedsięwziął on budowę nowego wielkiego teleskopu, co wymagało wielkich ofiar czasu i cierpliwości, gdyż, pragnąc

*) Mersenne (1588—1648) był wybitnym teologiem, matematykiem i filozofem. Odnazczył się swemi badaniami w dziedzinie akustyki, własności ciał stałych i cieczy. Był jednym z najbliższych przyjaciół Kartezjusza. Korespondował z wszystkimi niemal wybitniejszymi uczonymi Europy, jakby trzymając rękę na pulsie rozwoju nauki. Kiedy chodziło o rozstrzygnięcie lub wyjaśnienie jakiejś kwestyi, zwracano się do niego, on zaś wysyłał zapytanie pod właściwym adresem.

mieć narzędzie jak najdoskonalsze, zajął się Huygens sam szlifowaniem soczewek. Wytrwałość została uwieczniona powodzeniem: w roku 1655 odkrył Huygens księżyc Saturna; zbudowany przez niego teleskop 12-stopowy przewyższał czystością swych obrazów wszystkie dotychczasowe. Uczynione odkrycie zachęciło go do dalszych wysiłków. Po pewnym czasie powstał jeszcze większy teleskop 23-stopowy. Zapomocą tego narzędzia udało się Huygens'owi odkryć pierścień Saturna; później nastąpił szereg innych odkryć mniejszej wagi.

W tym również niezmiernie płodnym okresie swego życia dokonał Huygens jednego ze swych najważniejszych wynalazków: zbudował zegar wahadłowy. Huygens, jak zwykle, nie spieszył się z ogłoszeniem swego wynalazku. Dopiero w osiem miesięcy po umieszczeniu zegaru na wieży ratuszowej w Scheveningen, ogłosił opis zegara w dziełku „Horologium“. To niekwapienie się Huygens'a z ogłaszaniem prac swych nastęrczało często ludziom złej woli sposobność do podawania się za rzekomych wynalazców tej lub innej rzeczy. Sąd historii wypadł jednak ostatecznie na korzyść prawdziwego wynalazcy.

W roku 1660 odwiedził Huygens Anglię i Francję, nawiązując szereg stosunków osobistych z wybitnymi uczonymi tych krajów; z wieloma zresztą prowadził już i wcześniej ożywioną korespondencję. Istniały wówczas w Paryżu stowarzyszenia prywatne, mające na celu wspólne omawianie najnowszych wydarzeń w dziedzinie literatury i nauki. Te stowarzyszenia nadawały sobie nazwę akademii; z nich, staraniem słynnego Colbert'a, ministra Ludwika XIV, powstała Paryska Akademia Nauk, *) która do dziś jest najwybitniejszą bodaj w świecie instytucją naukową.

Colbert umiał ocenić talent wielkiego Holendra; samo nawet utworzenie Akademii warunkował zgodą Huygens'a. Gdy ten w roku 1665 zgodził się na przyjazd do Paryża, w kołach licznych jego przyjaciół zapanowała nieklamana radość. Niektórzy wyrażali wątpliwość, czy Huygens znajdzie w Paryżu dość zręcznych robotników do urzeczywistnienia swych wynalazków; miał na to Huygens odpowiedzieć, że — wykonanie fraszka, byleby były pomysły. Szlifierz wielkich obiektywów, człowiek, który sam zbudował maszynę pneumatyczną i zegar, mógł niewątpliwie być pewien sił swoich.

*) Co do dalszych dziejów Akademii ob. uwagę 1 na str. 35.

W Paryżu zamieszkał Huygens w gmachu Biblioteki Królewskiej. Spędził tu 12 lat swego życia, całkowicie pogrążony w pracy naukowej. Był materialny zabezpieczył mu rząd francuski w osobie Colbert'a. W Paryżu wydał główne swe dzieło: „Horologium oscillatorium, sive de motu pendulorum ad horologia adaptato“ (1673), („Zegar wahadłowy czyli o ruchu wahadeł w zastosowaniu do zegarów“). Tu też napisał swój wiekopomny „Traktat o świetle“, wydany w r. 1690.

Horologium oscillatorium wiąże się z wynalazkiem zegara. Zawiera jednak prócz tego szereg ważnych odkryć z mechaniki i matematyki. Autor daje, między innymi, teorię ruchu jednostajnego po kole, określa środek wahanía wahadła złożonego, udawadnia izochronizm spadania po cykloidzie, wprowadza po raz pierwszy pojęcie krzywizny linii i daje teorię rozwiniętych.

Rozprawa o świetle stanowi punkt wyjścia dla współczesnej nam nauki o energii promienistej. Koncepcje Huygens'a do dziś tkwią we wszelkiej teorii tych zjawisk. Najbardziej może zadziwiają rozdziały, poświęcone teorii załamania podwójnego; mamy tu przed sobą jednolite arcydzieło subtelności i głębokiego rozumowania, zespolonego z dziwnym darem spostrzegawczym i talentem eksperymentatorskim. Pod względem jasności wykładu, ta część „Traktatu“ prześciga niewątpliwie wszystko to, co zazwyczaj spotykamy obecnie w podręcznikach elementarnych. Być może, iż ilościowe sprawdzenie teorii nie odpowiada naszym obecnym wymaganiom; trzeba jednak przyznać, że autor osiągnął wszystko, na co pozwalały posiadane przezeń przybory; były nimi: kawałek kryształu, cyrkiel, papier i pióro. Badania ścisłe, wykonane przy pomocy środków nowoczesnych, potwierdziły w zupełności teorię Huygens'a. (Wollaston 1806). Jasnemu, przenikliwemu umysłowi Huygens'a udało się tu rozwiązać jedno z najzawilszych zagadnień nauk przyrodniczych.

Asystentem Huygens'a w Paryżu był słynny potem Denis Papin. *) Jego wynalazek maszyny parowej niewątpliwie miał swe źródło w pomysłach Huygens'a, który zbudował maszynę, poruszaną zapomocą wybuchów prochu. Maszyna Huygens'a jest

*) Denis Papin (1647—1710)—znany wynalazca kociołka do gotowania wody w wysokich temperaturach; dał również model maszyny parowej, która jednak nie miała praktycznego zastosowania.

pierwowzorem naszych współczesnych motorów wybuchowych. Myśl użycia siły pary również należy do Huygens'a. W spisie 27 tematów, które, podług projektu Huygens'a, miały być rozpatrywane w Akademii, znajdujemy między innymi:

- 19a. Wyszukać najlepsze i najprostsze środki podnoszenia wody.
20. Wypróbować siłę prochu.
21. Również—złota piorunującego.
22. Również—wody, która się ulatnia przez działanie ognia.

Huygens był duszą sekcji matematyczno-fizycznej Akademii. Niestrudzony był tak w komunikowaniu wyników badań teoretycznych, jako też w demonstrowaniu eksperymentów. Brał też udział w pracach sekcji nauk przyrodniczych, w której podówczas zasiadali lekarze; wśród przyrodników tych panował prawdziwy chaos w metodach badania i w wyciąganiu wniosków; miał tu Huygens do czynienia z typami isticie Molière'owskimi. Ci ludzie umieli tylko destylować, sublimować, robić wyciągi. To poddawali destylacji cały melon, to znów destylowali substancje zawarte w czterdziestu żywych kretach; dokonywali mnóstwa dyssekcji bez celu i ładu. Tym sposobem był Huygens razu pewnego mimowolnym świadkiem sekcji kobiety straconej. Zajął go budowa oka ludzkiego; zdjął dokładne pomiary z części różnych, określił krzywiznę rogówki i obydwu powierzchni soczewki; widząc, że soczewka daje się ścisnąć pomiędzy palcami, wypowiedział myśl, że jej odkształceniom należy przypisać przystosowywanie się oka do różnych odległości. Pogląd ten wyprzedził o lat dwieście teorię akomodacji.

Wyteżona praca wpłynęła niepomyślnie na stan zdrowia Huygens'a. Siły zaczęły go opuszczać. Ciężko chory kilkakrotnie wyjeżdżał do domu, aby wypocząć wśród rodziny. Tymczasem we Francji stosunki zaczęły się zmieniać. Ludwik XIV w żarliwości religijnej, która cechowała starsze jego lata, stał się nietolerantem. Zaczęły się prześladowania religijne, uwiecznione zniesieniem edyktu Nantejskiego. Huygens, który złożony chorobą wyjechał był koło roku 1677 do domu, nie miał już pogo wracać do Francji. Musieli opuścić Francję w tym czasie i inni uczeni niekatolicy: Papin, Römer.

Zrywa odtąd Huygens swe stosunki z Akademią Paryską. Nowe swe prace komunikuje wyłącznie Królewskiemu Towarzystwu

Nauk w Londynie. Temu ostatniemu przekazuje również swe wielkie lunety. Umarł w r. 1695.

Jako człowiek odznaczał się Huygens charakterem łagodnym, niezwykle skromnym i ujmującym. Życie swe poświęcił nauce bez zastrzeżeń. Nie był żonaty, podobnie jak Newton i kilku innych wielkich uczonych owego czasu. Charakterystyczny pod tym względem jest list, który napisał do brata swego Ludwika z racyi narodzin syna pierworodnego:

„Il y a du plaisir d'avoir matière à se faire ainsi des félicitations réciproques, à l'un pour des enfants de chair, à l'autre pour des enfants d'esprit. Si votre garçon est beau, ma fille, la nouvelle invention est aussi belle en son espèce et vivra longtemps avec sa soeur ainée la pendule et son frère l'anneau de Saturne“. *)

*) „Przyjemnem jest, że mamy powód do złożenia sobie życzeń wzajemnych: jednemu z racyi dzieci jego krwi, drugiemu z racyi dzieci jego umysłu. Jeżeli twój chłopiec jest piękny, to również piękną w swym rodzaju jest ma córka—me nowe odkrycie (po fr. rodz. żeńskiego), i długo będzie ona żyć wraz ze starszą swą siostrą zegarem i swym bratem pierścieniem Saturna“.

Traktat o świetle, gdzie wyjaśnione są przyczyny zjawisk, zachodzących przy jego odbiciu i załamaniu, a w szczególności — przy osobliwym załamaniu kryształu Islandzkiego przez C. H. D. Z.*)

ROZDZIAŁ I.

O prostoliniowem prostowaniu się promieni.

Dowodzenia, dotyczące optyki, podobnie jak to bywa we wszystkich naukach, gdzie geometryę stosujemy do materyi, oparte są na prawdach, wziętych z doświadczenia; taką prawdą jest np., że promienie światła rozchodzą się po linii prostej, że kąty odbicia i padania są sobie równe, że przy załamaniach promień łamie się podług tak zwanego obecnie prawidła wstaw, które jest nie mniej pewne od poprzednich.

Ci, którzy pisali o różnych działach optyki, zadawali się po większej części tem, iż z góry przyjmowali te prawdy. Lecz niektórzy, bardziej ciekawi, chcieli dociec ich pochodzenia i przyczyny, uważając, że one same przez się są zdziwiającymi przejawami oddziaływania Natury. W tym wzglę-

*) Inicyały C. H. D. Z. znaczą: Christian Huygens z Zuilichem. W oryginale tytuł dzieła brzmi: „*Traité de la lumière où sont expliquées les causes de ce que lui arrive dans la reflexion et dans la refraction et particulièrement dans l'étrange refraction du cristal d'Islande par C. H. D. Z.; avec un discours de la cause de la pesanteur. A Leide, chez Pierre Van der Aa, marchand libraire MDCXC*”. (1690). Jak widać z tytułu, drugą część dzieła stanowi rozprawa o przyczynie ciężkości; tej części zbiór niniejszy nie obejmuje.

dzie wypowiedziano rzeczy nader pomysłowe, jednak nie takie, aby ludzie sprawę głębiej pojmujący nie pożąдали tłumaczeń, któreby ich bardziej zadawały; z tego powodu chcę tu wyłożyć to, co sam myślałem o tym przedmiocie, aby, w miarę możliwości, przyczynić się do wyjaśnienia tej części Nauk przyrodniczych, która nie bez słuszności uchodzi za jedną z trudniejszych. Wyznaję, że jestem wiele obowiązany tym, którzy pierwsi zaczęli rozpraszać dziwny mrok, osłaniający te rzeczy, i zaczęli budzić nadzieję, że one mogą być wyjaśnione za pomocą zrozumiałych przyczyn. Z drugiej strony dziwię się jednak również, że nawet ci właśnie uczeni często chcieli podawać rozumowania mało oczywiste za bardzo pewne i przekonujące. Nie znajduję mianowicie, żeby ktokolwiek wytłumaczył w sposób prawdopodobny te najprostsze a ważne zjawiska świetlne, a mianowicie: dlaczego światło rozchodzi się tylko wzdłuż linii prostych, i jakim sposobem promienie widzialne, wychodzące z nieskończonej mnogości miejsc różnych, krzyżują się, nie przeszkadzając w niczem jedne drugim.

Spróbuję więc w tej książce, opierając się na zasadach przyjętych w filozofii dzisiejszej, podać dowody tych zjawisk bardziej jasne i bardziej prawdopodobne; przyczem omówię po pierwsze własności światła, rozchodzącego się prostoliniowo, po drugie — własności światła, odbitego wskutek spotkania z innymi ciałami. Potem wytłumaczę zjawiska, dotyczące promieni, które, jak mówią, doznają załamania, przechodząc przez różnego rodzaju ciała przezroczyste; tam też rozważać będę skutki załamania w powietrzu, wynikającego z różnej gęstości warstw atmosfery.

Dalej zbadam przyczyny niezwykłego załamania w pewnym kryształ, który przywożą z Islandyi. W końcu będę rozważał różne formy ciał przezroczystych i odbijających, dzięki którym promienie są zbierane w jednym punkcie lub też odchylane różnymi sposobami.

.....

Nie należy wątpić, że światło polega na ruchu pewnej materji. Albowiem, gdy obserwujemy jego powstawanie, znaj-

dujemy, że tu na ziemi przeważnie ogień i płomień wywołują światło, a one niewątpliwie zawierają ciała, które znajdują się w prędkim ruchu, gdyż rozpuszczają i topią wiele innych ciał i to nawet z pomiędzy najbardziej stałych. Podobnie, gdy zważymy skutki przez światło wywoływane, widzimy, że, gdy zbieramy np. jego promienie za pomocą zwierciadeł wklęsłych, ma ono własność palenia, jak ogień, to jest—rozdziela części ciał. Okoliczność ta świadczy niewątpliwie o ruchu, — przynajmniej w filozofii prawdziwej, która widzi przyczynę wszystkich zjawisk natury w czynnikach mechanicznych.¹⁾ Tak właśnie należy czynić zdaniem mojem lub też—wyrzec się wszelkiej nadziei, aby kiedykolwiek zrozumieć cokolwiek w Fyzyce.

A ponieważ podług tej filozofii uważa się za rzecz pewną, że wrażenia wzrokowe są wzbudzone przez jakiś ruch materji, która działa na nerwy na dnie oczu naszych, mamy więc nowy powód do przypuszczania, że światło polega na ruchu materji, która znajduje się pomiędzy nami a ciałem świecącym.

Zauważmy dalej, że światło rozchodzi się na wszystkie strony z niezmierną prędkością i że wiązki światła, przychodzące ze stron różnych, nawet wręcz przeciwnych, przenikają się wzajemnie, nie przeszkadzając jedne drugim; opierając się na tem, zrozumiemy łatwo, że, gdy widzimy przedmiot świecący, nie może to zachodzić dzięki przeniesieniu się materji, która miałaby dochodzić do nas od przedmiotu tego podobnie, jak kula lub strzała, przesywająca powietrze. Albowiem sprzeciwia się to nazbyt tym dwu własnościom światła, a zwłaszcza ostatniej. *) A zatem światło rozchodzi się w inny sposób, a do zrozumienia tego sposobu może nas prowadzić właśnie znajomość rozchodzenia się głosu w powietrzu.

Wiemy, że od miejsca, w którym głos został wytworzony, rozchodzi się on wszędzie naokoło za pośrednictwem

*) To jest zdolności wzajemnego przenikania się wiązek świetlnych(*przyp. tl.*).

powietrza, ciała, którego nie można widzieć i dotykać, przy-
czem ruch przechodzi stopniowo od jednej części powietrza
do drugiej. Ponieważ rozchodzenie się tego ruchu odbywa
się we wszystkie strony z jednakową prędkością, muszą
przeto powstawać jakby powierzchnie kuliste, które roz-
szerzają się ciągle i wreszcie uderzają w nasze ucho. Otóż
nie ulega wątpliwości, że również i światło dochodzi do
nas od ciał świecących zapomocą jakiegoś ruchu nadanego
materii, która się znajduje pomiędzy tamtem ciałem a nami;
albowiem widzieliśmy już, że to się nie może dziać zapo-
mocą przenoszenia się ciała, któreby przechodziło stamtąd
do nas. Jeżeli więc w dodatku, co rozpatrzmy teraz, światło
używa pewnego czasu na swe przechodzenie, to będzie
stąd wynikało, że ruch nadany materii jest stopniowy, że
więc rozchodzi się on zapomocą powierzchni i fal sferycz-
nych podobnie, jak to się dzieje w przypadku dźwięku. Na-
zywam je falami wskutek podobieństwa do fal, których po-
stawianie w wodzie widzimy, kiedy wrzucimy w nią ka-
mień. Te fale okazują takie właśnie stopniowe rozchodzenie
się wokół, choć pochodzi to z innej przyczyny i ma miejsce
tylko na powierzchni płaskiej.

Na następnych stronicach rozpatruje Huygens kwestyę
prędkości światła i, powołując się na dane, zdobyte przez
Römera w jego obserwacjach nad zaćmieniami księżyców Jo-
wisza, zbija zdanie Descartes'a o momentalnym rozchodzeniu
się światła.

...A zatem prędkość światła jest przeszło sześćset ty-
sięcy razy większa ²⁾ od prędkości głosu. Jest to jednak
rzecz zgoła różna od rozchodzenia się momentalnego, po-
nieważ pomiędzy jednym a drugim zachodzi ta sama różni-
ca, co pomiędzy rzeczą skończoną a nieskończoną. Gdy więc
stopniowość ruchu światła jest tym sposobem stwierdzona,
wynika stąd, jakem mówił, że ruch ten odbywa się zapo-
mocą fal kulistych, na wzór rozchodzenia się głosu.

Lecz jeżeli i jedno i drugie zjawisko podobne są do
siebie pod tym względem, różnią się one pod wielo-
ma innymi względami; a mianowicie: pod względem po-

chodzenia ruchu, który je wywołuje, a dalej — pod względem materji, w której ruch się rozchodzi, oraz sposobu w jaki się przekazuje. Albowiem, co dotyczy wytwarzania dźwięku, wiadomo, że dzieje się to przez wstrząśnienie, którego doznaje całe ciało lub też znaczna część jego; one już poruszają całe powietrze przylegające. Ruch światła znowu musi powstawać jakby w każdym punkcie przedmiotu świecącego, co nam pozwala zauważyć wszystkie części tego przedmiotu; zobaczymy to lepiej w dalszym ciągu. I nie sądzę, by ruch ten można było wytłómaczyć lepiej innym sposobem, niż zapomocą przypuszczenia, że te z pomiędzy ciał świecących, które są płynne, jak płomień, a również, o ile się zdaje, słońce i gwiazdy, składają się z cząsteczek, które pływają w materji daleko subtelniejszej. Materja ta porusza te cząsteczki z wielką szybkością i uderza niemi o cząsteczki eteru, które je otaczają, a które są od nich daleko mniejsze. Przypuszczalnie jednak w ciałach stałych, jak węgiel lub metal rozżarzony w ogniu do czerwoności, ruch jest wywoływany przez silne wstrząśnienia cząsteczek metalu lub drzewa; a te właśnie cząsteczki, które są na powierzchni, uderzają znowu o materję eterową. Zresztą ruch cząsteczek, które wytwarzają światło, musi być daleko silniejszy i prędszy, niż ruch ciał, który powoduje dźwięk, ponieważ nie widzimy, aby drganie ciała dźwięczącego było w stanie wywołać światło podobnie, jak ruch ręki w powietrzu nie jest w stanie wywołać dźwięku.

A teraz, jeżeli rozpatrzemy, jaką może być ta materja, w której rozchodzi się ruch, idący od ciał świecących, a którą ja nazywam materją eterową, zobaczymy, że nie jest to ta sama materja, która służy do rozchodzenia się dźwięku. Ponieważ znajdujemy, że tą ostatnią jest właśnie powietrze, które odczuwamy i którym oddychamy; albowiem, jeżeli je usuniemy z danego miejsca, to druga materja, która służy do rozchodzenia się światła, nie przestaje tam się znajdować. Dowodzi się tego, zamykając ciało dźwięczące w naczyniu szklanem, z którego potem wyciąga się powietrze zapomocą maszyny, którą nam dał p. Boyle i zapomocą której wy-

konał on tyle pięknych doświadczeń. Wykonywując jednak doświadczenie, o którym mówię, należy pamiętać o tem, żeby umieścić ciało dźwięczące na bawelnie lub na pierzach tak, aby ono nie mogło przekazywać swych drgań naczyaniu szklanemu, które je zawiera, ani maszynie, co dotychczas zaniedbywano. Ponieważ wówczas, po wypompowaniu całego powietrza, nie słycać głosu, choć metal jest uderzony.

Widzimy stąd nie tylko to, że nasze powietrze, które nie przenika szkła, jest materyą, w której rozchodzi się głos, lecz również, — że światło rozchodzi się bynajmniej nie w tem samym powietrzu, lecz w jakiejś innej materyi; albowiem, choć powietrze zostanie usunięte z naczynia, światło jednak nie przestaje przechodzić przez nie, jak poprzednio.

Słynne doświadczenie Torricellego stwierdza jeszcze jaśniej ten ostatni punkt; w doświadczeniu tem rurka szklana, z której ustąpiło żywe srebro, opróżniona z powietrza, przepuszcza światło, jak gdyby w niej było powietrze. A to dowodzi, że w rurce tej znajduje się materya od powietrza odmienna i że ta materya musiała przebić szkło lub żywe srebro, bądź też jedno i drugie ciało, które są obadwa nieprzenikliwe dla powietrza. A gdy w tem samym doświadczeniu otrzymuje się próżnię, dodając nieco wody powyżej rtęci, wnioskuje się wówczas w podobny sposób, że materya, o której mowa, przechodzi przez szkło lub też przez obadwa ciała.

Co się tyczy różnych sposobów, którymi, jak powiedziałem, przekazują się stopniowo ruchy głosu i światła, można dostatecznie zrozumieć, jak to zachodzi, w stosunku do głosu, jeżeli się zważy, że powietrze jest tej natury, iż może ono zostać ściśnięte, a objętość jego — zredukowana do objętości daleko mniejszej. W miarę ściskania okazuje powietrze dążenie, aby z powrotem zająć przestrzeń szerszą. Otóż ta własność łącznie z przenikliwością, która pozostaje powietrzu, pomimo ściśnięcia, zdaje się świadczyć, że ono jest złożone z małych ciałek, które pływają w materyi eterowej i są w niej nader szybko poruszane; sama zaś materya eterowa składa się z części daleko mniejszych. Tym spo-

sobem przyczyną rozchodzenia się fal głosu jest wysięk tych małych, uderzających o siebie ciałek, aby zająć szerszą przestrzeń, gdy w obrębie fal tych zostaną trochę bardziej ściśnięte, niż gdzieindziej.

Lecz nadzwyczajna prędkość światła i inne jego własności nie pozwalają przypuszczać tego rodzaju rozchodzenia się ruchu; pokażę tutaj, jakim sposobem ja sobie rzecz tę wyobrażam. W tym celu należy wytłomaczyć własność wzajemnego przekazywania ruchu, którą posiadają ciała twarde.

Jeżeli wziąć pewną liczbę kul jednakowej wielkości, zrobionych z jakiegoś materiału bardzo twardego, i te kule ułożyć w szereg, wzdłuż linii prostej, aby się dotykały siebie, to znajdziemy, że, jeżeli kulą podobną uderzymy pierwszą z tych kul, ruch przejdzie jakby momentalnie aż do ostatniej, która oddziela się od szeregu, choć nie widać, żeby inne się poruszyły; i nawet kula, która je uderzyła, pozostaje wraz z niemi nieruchoma. I widzi się tu rozchodzenie się ruchu o prędkości nadzwyczajnej, i ta prędkość jest tem większa, im większą twardość posiada materya kul. Lecz jest jeszcze pewnem, że to przechodzenie ruchu nie jest momentalne, lecz stopniowe i wymaga zatem czasu. Albowiem gdyby ruch lub, jeżeli kto chce, skłonność do ruchu nie przechodziła stopniowo przez te wszystkie kule, to one wszystkie nabierałyby jej jednocześnie, a zatem posuwałyby się naprzód wszystkie razem, co nie zachodzi, gdyż właśnie ostatnia opuszcza cały szereg i nabiera prędkości tej kuli, która była popchnięta. Pozatem znamy doświadczenia, które wykazują, że wszystkie te ciała, które zaliczamy do rzędu najtwardszych, jak stal hartowana, szkło, agat są sprężyste i gną się do pewnego stopnia nie tylko, gdy są wyciągnięte w pręty, lecz również, gdy mają formę kul lub jakąkolwiek inną. To znaczy, iż wchodzą one trochę samę w siebie w miejscu, w którym są uderzone, i uderzone wracają niezwłocznie do swej postaci pierwotnej. Albowiem, uderzając kulę szklaną lub agatową o duży i bardzo gruby kawałek tej samej materyi, która miała powierzchnię gładką i nieco przymgloną zapomocą chuchnięcia lub innym sposobem,

znalazłem, iż pozostawały znaki okrągłe, mniejsze lub większe, stosownie do tego, czy uderzenie było silne, czy słabe. Widać stąd, że tę materye poddają się przy swem spotkaniu, a potem powracają do swego kształtu, na co przecież muszą zużywać czas.

Lecz, choć nie znamy prawdziwej przyczyny sprężystości, widzimy wciąż, że wiele ciał posiada tę własność; nie ma zatem nic dziwnego w przypuszczeniu, że posiadają własność tę również i małe ciała niewidzialne, jak ciała eteru. A jeżeli chcemy szukać jakiegoś innego sposobu, zapomocą którego ruch światła miałby się przekazywać stopniowo, to nie znajdziemy sposobu, któryby lepiej odpowiadał rzeczywistości, niż sprężystość i jednostajność biegu. Ta ostatnia wydaje się konieczną, albowiem, gdyby prędkość ruchu malała w miarę, jak, przy oddalaniu się od źródła światła, ruch ten rozdziela się pomiędzy większą ilością materyi, bieg światła nie mógłby zachować swej wielkiej prędkości na dużych odległościach. O ile zaś przypuścimy sprężystość materyi eterowej, cząsteczki jej będą miały zdolność powracania do swego kształtu z prędkością jednakową, niezależnie od tego, czy będą silnie czy słabo popchnięte. Tym sposobem bieg światła odbywać się będzie zawsze z równą prędkością.

I trzeba wiedzieć, że, choć cząsteczki eteru nie są uszeregowane wzdłuż linii prostych, jak nasz rząd kul, lecz ułożone w sposób powikłany tak, że każda z nich dotyka wielu innych, nie przeszkadza im to jednak w przekazywaniu wzajemnem swego ruchu i szerzeniu go wciąż naprzód. Tu należy zauważyć prawo ruchu, które jest podstawą tego rozchodzenia się, a które sprawdza się w doświadczeniu. Jeżeli mianowicie kula *A* (fig. 27). dotyka kilku innych podobnych *CCC* i doznaje uderzenia od innej kuli *B*, przyczem wywiera parcie na wszystkie kule *CCC*, których się dotyka, wówczas przekazuje im ona

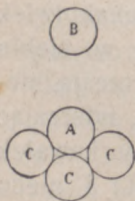


Fig. 27.

całkowicie ruch swój i pozostaje potem nieruchoma podobnie, jak i kula *B*. Jest łatwo zrozumiałem, że ta własność uderzenia przyczynia się do wspomnianego rozchodzenia się ruchu; nie zależy to od przypuszczenia o sferycznej formie cząsteczek eterowych (gdyż nie widzę zresztą konieczności takiego przypuszczenia).

Równość cząsteczek pod względem wielkości wydaje się bardziej konieczną, gdyż inaczej musiałyby mieć miejsce odbicie ruchu wstecz, przy jego przechodzeniu od cząsteczki mniejszej do większej, jak wynika z praw uderzenia, które ogłosiłem kilka lat temu.

Należy jeszcze rozpatrzyć szczegółowiej pochodzenie tych fal *) i sposób ich rozchodzenia się. Z tego, co było powiedziane o wytwarzaniu światła, wynika przedewszystkiem, że każda cząstka ciała świecącego, jak słońce, świeca lub żarzący się węgiel, wytwarza swe fale, a sam punkt świecący jest środkiem fali. Jeżeli więc w płomieniu świecy wyróżnimy punkty *A*, *B*, *C* (fig. 28), to koła spółśrodkowe, zakreślone wokoło każdego z tych punktów, przedstawiają fale, które z nich wychodzą. Podobne fale należy sobie wyobrażać naokoło każdego punktu powierzchni lub też części wewnętrznej tego płomienia. Ponieważ jednak wstrząśnienia w środku tych fal nie mają bynajmniej regularnej następczości, nie należy więc wyobrażać sobie, aby same fale szły po sobie w równych odstępach; a jeżeli odstępów wydają się równe na tej figurze, to uczyniono tak raczej, aby zaznaczyć posuwanie się naprzód jednej i tej samej fali w równych odstępach czasu, niż — by przedstawić kilka fal z tego samego środka pochodzących.



Fig. 28.

Niech się jednak nie wydaje niepojętem, że ta zdumiewająca ilość fal, krzyżujących się, nie wywołuje zamieszania

*) Świetlnych (*przyj. tl.*).

nia i nie znosi się wzajemnie. Albowiem jest rzeczą pewną, że ta sama cząstka materyi może służyć do przenoszenia wielu fal, przychodzących ze stron różnych, nawet — przeciwnych, i to — nie tylko, gdy ją wprawiają w ruch uderzenia, które następują po sobie w blizkich odstępach, lecz nawet, — gdy uderzenia te działają na nią jednocześnie; dzieje się tak wskutek stopniowego przekazywania się ruchu. Można tego dowieść zapomocą szeregu kul równych, z twardej substancyi, o których była mowa powyżej. Jeżeli popchniemy w kierunku takiego szeregu jednocześnie z dwu stron

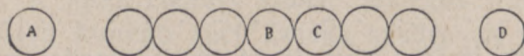


Fig. 29.

przeciwnych jednakowe kule *A* i *D*, to zobaczymy, że każda z nich odskoczy z taką samą prędkością, jaką miała, biegnąc. Cały szereg pozostanie w swem miejscu, chociaż ruch przebiegł całą jego długość i to podwójnie. I jeżeli te ruchy przeciwne spotkają się w kuli środkowej *B* lub w jakiej innej *C*, to musi się ona ugiąć i okazać przeciwdziałanie sprężyste z dwu stron; tym sposobem będzie ona jednocześnie służyć do przekazywania tych dwu ruchów.

Należy jeszcze zauważyć, że, przy wysyłaniu fal świetlnych, każda cząstka materyi, w której się fala rozchodzi, musi przekazywać swój ruch nie tylko cząsteczce sąsiedniej, która znajduje się na linii prostej, poprowadzonej z punktu świecącego, lecz oddaje ruch swój z równą koniecznością wszystkim innym cząsteczkom, które jej dotykają, a które się sprzeciwiają jej ruchowi. Tym sposobem koło każdej cząsteczki nieodzownie powstaje fala, której środek stanowi dana cząsteczka. Jeżeli zatem *DCF* jest falą, która wyszła z punktu świecącego *A*, będącego jej środkiem, to cząsteczka *B* (fig. 30), jedna z tych, które są zawarte w kuli *DCF*, wytworzy swą falę własną *KCL*, która dotknie fali

DCF w *C* w tej samej chwili, gdy fala główna, pochodząca z punktu *A*, dojdzie do *DCF*. Jasnym jest, że tylko okolica *C* fali *KCL* dotknie fali *DCF*, a mianowicie — ten jej punkt, który znajduje się na prostej, poprowadzonej przez *AB*. Podobnie inne cząsteczki, zawarte w kuli *DCF*, jak np. *bb*, *dd* i t. d., wytworzą każdą swoją falę. Lecz każda z tych fal może być tylko nieskończenie słaba w porównaniu z falą *DCF*, do której wytworzenia przyczyniają się wszystkie inne części swej powierzchni, która jest najbardziej oddalona od środka *A* ³⁾.

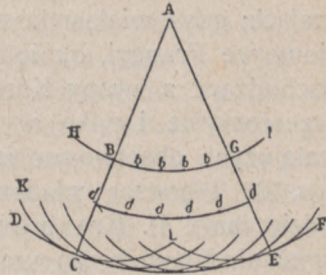


Fig. 30.

ROZDZIAŁ V.

O osobliwym załamaniu kryształu Islandzkiego.

Przywożę z Islandyi, która jest wyspą Morza Północnego na wysokości 66-go stopnia, rodzaj kryształu lub kamienia przezroczystego, nader godnego uwagi ze względu na swe osobliwe załamania. Wydało mi się, że przyczyny tego załamania powinny wzbudzać tem większą ciekawość badacza, że pomiędzy ciałami przezroczystymi to jedyne nie podlega prawidłom zwykłym w stosunku do promieni światła. Przeprowadzenie tego badania wydawało mi się, ponieważ, koniecznem, ponieważ załamania w tym kryształcie zdawały się obalać nasze poprzednie tłómaczenie załamania prawidłowego. Zobaczmy jednak, że znajduje ono wymowne potwierdze-

nie w sprowadzeniu tych zjawisk do tej samej zasady. W Islandyi znajdują duże kawałki tego kryształu; widziałem takie, które miały po 4 i 5 funtów. Lecz rosną one i w innych krajach; gdyż miałem kryształ tego samego rodzaju, znalezione we Francyi, około miasta Troyes w Szampanii i inny pochodzący z wyspy Korsyki, chociaż i ten i tamten—mniej przezroczyste i tylko w małych kawałkach, zaledwie pozwalających obserwować jakiegokolwiek działanie załamania.

2. Pierwszą wiadomość publiczną o rzeczy tej zawdzięczamy P. Erazmowi Bartholin'owi, ⁴⁾ który dał opis kryształu Islandzkiego wraz z opisem głównych zjawisk, które można przy pomocy niego obserwować. Lecz nie omieszkam dać tu mego opisu, tak dla pouczenia tych, którzy nie widzieli jego książki, jako też i dlatego, że w niektórych zjawiskach zachodzi pewna niewielka różnica pomiędzy jego obserwacyami a mojemu. Dokładałem wielu starań, aby ściśle zbadać te własności załamania, chcąc osiągnąć całkowitą pewność, zanim przedsięwezmę wyjaśnienie jego przyczyn.

3. Jeśli zważymy na twardość tego kamienia, na jego łatwą łupliwość, to będziemy go musieli uważać raczej za rodzaj talku, niż za kryształ, albowiem ostrze żelazne rysuje go równie łatwo, jak talk lub jak alabaster, któremu dorównywa swą ciężkością.

4. Kawałki, które się znajduje, mają formę równoległościanu skośnego; każda z sześciu ścian jest równoległobokiem; daje się on łupać we wszystkich trzech kierunkach równoległe do dwu ścian przeciwległych. Można go łupać, jeżeli sobie kto tego życzy, tak nawet, aby wszystkie 6 ścian były rombami równymi i podobnymi. Figura tu dołączona (fig. 31) przedstawia kawałek tego kryształu. Kąty rozwarte wszystkich równoległoboków, jak tu kąty *C*, *D*, mają po 101 stopni 52 minuty, a zatem kąty ostre jak *A* i *B* — po 78 stopni 8 minut.

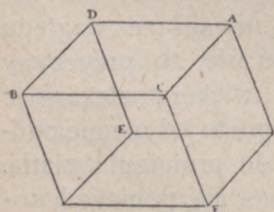


Fig. 31.

5. Co dotyczy kątów bryłowych, mamy dwa przeciwległe, jak *B*, *E*, z których każdy składa się z trzech kątów

płaskich, rozwartych i równych. Sześć innych składa się z dwu kątów ostrych i jednego rozwartego. Wszystko, co teraz powiedziałem, było również zauważone przez P. Bartholina w wyżej wspomnianym traktacie; różni się jeno cokolwiek w wielkości kątów. Podaje on jeszcze kilka innych własności kryształu tego, a mianowicie: że, potarty o sukno, przyciąga źdźbła słomy i inne rzeczy lekkie, podobnie jak to czynią bursztyn, dyament, szkło i wosk Hiszpański; że kawałek jego, pokryty wodą w ciągu jednego dnia lub więcej, traci swój połysk naturalny; że kiedy nalać nań wody silnej, to ona powoduje wrzenie, osobliwie, jakem znalazł, jeżeli kryształ sproszkować. ⁵⁾ Znalazłem również doświadczalnie, że można go ogrzać do czerwoności, przy czem nie doznaje on żadnej zmiany ani się nie staje mniej przezroczysty,—że jednak bardzo gwałtowny ogień zwapnia go. Jego przezroczystość nie jest bynajmniej mniejsza niż przezroczystość wody lub kryształu górnego, ⁶⁾ a przepuszcza on światło bezbarwne. Lecz promienie światła przechodzą przezeń innym sposobem i wywołują te zadziwiające załamania, których przyczyny spróbuję teraz wytłómaczyć, odkładając na koniec traktatu tego wypowiedzenie nowych przypuszczeń, dotyczących powstawania niezwyklej postaci tego kryształu.

We wszystkich innych ciałach przezroczystych, które znamy, mamy tylko jedno proste załamanie, lecz w tem ciełe mamy dwa różne. To powoduje, że przedmioty widziane przez to ciało, szczególnie te, które są bezpośrednio doń przyłożone, wydają się podwójnymi, i że promień słoneczny, padając na jedną z jego powierzchni, rozdziela się na dwa i tak przechodzi przez kryształ.

7. Jest jeszcze prawem powszechnem we wszystkich innych ciałach przezroczystych, że promień, który pada prostopadle na ich powierzchnię, przechodzi zupełnie prosto, nie doznając załamania, i że promień ukośny załamuje się zawsze. Lecz w tym kryształach promień prostopadły doznaje załamania i są promienie ukośne, które przechodzą zupełnie prosto.

8. Aby jednak wytlómaczyć szczegółowiej te zjawiska, rozpatrzmy znowu kawałek tego kryształu $ABFE$ (fig. 32), i niech prosta CG dzieli na dwie części równy kąt rozwarty ACB , jeden z trzech, które tworzą kąt bryłowy równoboczny C . Wyobraźmy sobie, że kryształ jest przecięty płaszczyzną, która przechodzi przez tę linię i przez krawędź CF . Płaszczyzna ta z konieczności będzie prostopadła względem powierzchni AB , ⁷⁾ a jej przecięcie z kryształem da równoległobok $GCFH$. Przekrój ten nazwiemy przekrojem głównym kryształu.

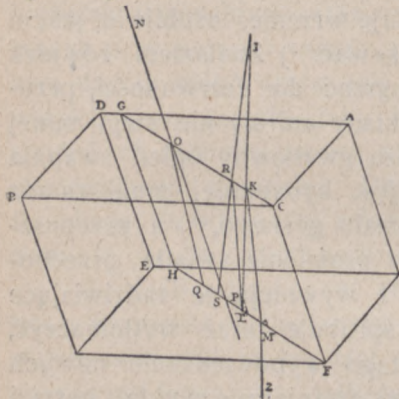


Fig. 32.

9. Jeżeli teraz zakryjemy powierzchnię AB , pozostawiając na niej tylko mały otwór w punkcie K , wziętym na prostej CG , i jeżeli wystawimy kryształ na słońce tak, aby promienie padały nań prostopadle, to promień IK rozdzieli się w punkcie K na dwa, z których jeden dalej iść będzie prostą drogą KL , drugi odchyli

się, idąc wzdłuż prostej KM , która znajduje się w płaszczyźnie $CGHF$ i tworzy z KL kąt, wynoszący około 6 stopni 40 minut, zwracając się przy tem w stronę kąta bryłowego C . Wychodząc z drugiej strony kryształu, promień znów się skieruje wzdłuż MZ równoległe do IK . Wskutek tego załamania nadzwyczajnego widzimy punkt M za pośrednictwem promienia łamanego MKI , który, jak przypuszczamy, idzie do oka I . ⁸⁾ Wynika więc stąd, że punkt L będzie widziany dzięki temu samemu załamaniu ^{*)} za pośrednictwem promienia łamanego LRI ,—tak, iż LR będzie jakby równoległą względem MK , jeżeli się przypuszcza, że odległość oka KI jest bardzo duża. ⁹⁾ A więc wydaje się, że punkt L leży

^{*)} T. j. dzięki załamaniu nadzwyczajnemu (*przyp. tł.*).

jakby na linii IRS , lecz ten sam punkt, wskutek załamania zwykłego, zdaje się również być na prostej IK , sądzymy więc z konieczności, że on jest podwójny. Podobnie, jeżeli L jest małym otworem w kartce papieru lub innej materyi, którą przyłożymy do kryształu, wyda się nam, gdy go zwrócimy do światła, że są jakby dwa otwory. Będą one tem bardziej odległe jeden od drugiego, im większą grubość mieć będzie kryształ.

10. Obróćmy znów kryształ tak, aby promień słoneczny padający NO , który, jak przypuszczam, znajduje się w przedłużeniu płaszczyzny $GCFH$, utworzył z CG kąt 73 stopni 20 minut; będzie on zatem prawie równoległy do krawędzi CF , która tworzy z FH kąt 70 stopni 57 minut podług rachunku, który umieszczę w końcu. Promień ten rozdziela się w punkcie O na dwa promienie, z których jeden dalej iść będzie wzdłuż OP po linii, stanowiącej przedłużenie NO , i wyjdzie podobnie z drugiej strony kryształu, nie załamując się bynajmniej, zaś drugi promień załamie się i pójdzie wzdłuż OQ . Należy zauważyć, że jest to szczególną właściwością płaszczyzny GCF i tych płaszczyzn, które są względem niej równoległe, że wszystkie promienie padające, które znajdują się w jednej z tych płaszczyzn, dalej się w tej płaszczyźnie znajdują po wejściu do kryształu i po rozdzieleniu się. Gdyż, jak to okażemy później, zupełnie inaczej ma się rzecz w promieniach wszystkich innych płaszczyzn, które kryształ przecinają.

11. Znalazłem na początku zapomocą tych i niektórych innych doświadczeń, że z pomiędzy dwu różnych załamań, których promień doznaje w kryształach, jest jedno, które podlega prawidłom zwykłym i do tego właśnie załamania należą promienie KL i OQ . I dla tego też odróżniłem to załamanie zwyczajne od drugiego; a zmierzwszy je zapomocą spostrzeżeń dokładnych, znalazłem, że stosunek wstaw kątów, które tworzą promień padający i załamany z prostopadłą, równa się dość ściśle stosunkowi 5 do 3, co również znalazł p. Bartholin; stosunek ten jest zatem większy,

niż w kryształach górnych lub szkła, gdzie równa się mniej więcej $\frac{3}{2}$.

12. Dokładny sposób wykonania tych spostrzeżeń jest następujący. Na papierze, przymocowanym do bardzo równego stołu, należy nakreślić czarną linię AB (ob. fig. 33)

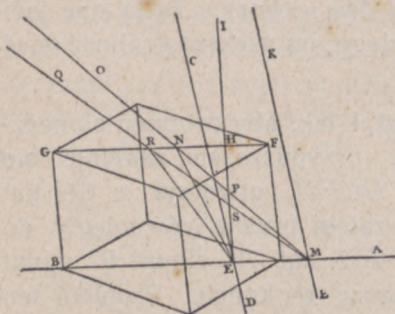


Fig. 33.

i dwie inne CED i KML , które ją przecinają pod kątami prostymi; te linie mają być mniej lub więcej odległe jedna od drugiej, stosownie do tego, czy pragniemy rozpatrywać promień bardziej lub mniej ukośny. Kryształ należy umieścić na punkcie przecięcia E tak, aby linia

AB odpowiadała dwusiecznej kąta rozwartego powierzchni dolnej lub jakiegokolwiek linii względem tamtej równoległej. Jeżeli wówczas umieścimy oko prosto nad linią AB , wyda się nam ona tylko pojedynczą i zobaczymy, że część jej, widziana poprzez kryształ, i części, które się widzi nazewnątrz kryształu, spotykają się wzdłuż linii prostej; lecz linia CD wyda się podwójną, i będzie się odróżniało obraz, który pochodzi z załamania prawidłowego, po tem, że się wydaje bardziej wzniesiony niż drugi, kiedy się patrzy obydwoma oczami,—lub też po tem, że przy obracaniu kryształu na papierze będzie on pozostawał nieruchomy podczas, gdy drugi obraz porusza się i obraca w kółko.

Umieścimy potem oko w I (pozostając ciągle w płaszczyźnie prostopadłej, poprowadzonej przez AB) tak, aby ono widziało, że obraz linii CD , pochodzący z załamania prawidłowego, tworzy jedną prostą z pozostałą częścią linii CD , która się znajduje zewnątrz kryształu.¹⁰⁾ Naznaczając wówczas na powierzchni kryształu punkt H , gdzie się widzi przecięcie E , będziemy mieli punkt ten prosto ponad E . Potem usuniemy oko w stronę O , zawsze w płaszczyźnie prostopadłej, przez AB przechodzącej, tak, aby się wyda-

wało, że obraz linii CD , który powstaje dzięki załamaniu zwyczajnemu, leży na jednej prostej z linią KL widzianą bez załamania, i na kryształe naznaczymy punkt N , gdzie się widzi punkt przecięcia E .

13. A więc będziemy znali długość i pozycję linii NH , EM i HE , która jest grubością kryształu. Linie te narysujemy osobno na płaszczyźnie; jeśli dodamy wówczas linie NE i NM , która przecina HE w P , to stosunek załamania będzie równy stosunkowi EN do NP , ponieważ te linie mają się do siebie, jak wstawy kątów NGH i NEP , które są równe kątom, jakie promień padający ON i jego część załamana NE tworzą z prostopadłą do powierzchni. Stosunek ten, jakem powiedział, równa się dość dokładnie stosunkowi 5 do 3 i jest zawsze ten sam przy wszelkich nachyleniach promienia padającego.

14. Ten sam sposób obserwacji służył mi również do badania w kryształach tym załamania nadzwyczajnego lub nieprawidłowego. Albowiem znalazłszy i naznaczywszy punkt H wprost nad punktem E , jak to było powiedziane, patrzyłem na obraz linii CD , powstający wskutek załamania nadzwyczajnego; a umieściwszy oko w Q tak, żeby obraz dawał jedną prostą wraz z linią KL , widzianą bez załamania, znałem trójkąty REH , RES , a zatem — i kąty RSH , RES , które promień padający i załamany tworzą z prostopadłą.¹¹⁾

15. Znalazłem jednak, że w tym załamaniu stosunek ER do ES nie był stały, jak w załamaniu zwykłym, lecz zmieniał się odpowiednio do różnych nachyleń promienia padającego.

18. Ponieważ były dwa załamania różne, więc wnioskowałem, że były również wysyłane i dwie fale świetlne... Przypisałem rozchodzeniu się fal w tym środowisku eterowem załamaniu prawidłowe, które obserwujemy w tym kamieniu; uczyniłem przypuszczenie, że te fale, jak zwykłe, są formy kulistej i posiadają mniejszą prędkość

rozchodzenia się wewnątrz kryształu, niż nazewnątrz, a, jakem wykazał, wynika stąd załamanie.

19. Co dotyczy drugiego wypromieniowywania, które miało wywoływać załamanie nieprawidłowe, chciałem spróbować, coby dały fale eliptyczne, lub, lepiej mówiąc, sferoidalne, co do których przypuszczałem, że rozchodzą się zarówno w materii eterowej, znajdującej się w kryształ, jako też—w cząsteczkach, z których się składa kryształ... Zdawało mi się, że rozmieszczenie czyli ułożenie regularne tych cząsteczek mogło sprzyjać powstawaniu fal sferoidalnych (albowiem potrzeba na to tylko, aby stopniowe rozchodzenie się światła odbywało się nieco prędzej w jednym kierunku, niż w drugim), nie wątpiłem prawie zupełnie, że jest w kryształ tym taki rozkład cząsteczek równych i podobnych; a wnosiłem o tem z racji jego postaci i jego kątów o mierze określonej i niezmiennej. Co się tyczy cząsteczek tych, ich formy i rozkładu, przedstawię na końcu traktatu tego moje przypuszczenia i pewne doświadczenia, które je potwierdzają.

20. Podwójne wysyłanie fal świetlnych, które sobie wyobrażałem, stało się dla mnie bardziej prawdopodobnem, gdy zauważyłem pewne zjawisko w kryształ zwykłym. ¹²⁾ Ten ostatni rośnie w formie sześciokątnej; dzięki tej regularności wydaje się, iż składa się on również z cząsteczek określonej formy, ułożonych w porządku. Spostrzeżenie moje polegało na tem, że kryształ ten posiada załamania podwójne podobnie, jak i kryształ Islandzki, choć mniej widoczne. Albowiem, kiedy kazałem zeń wyciąć w różnych przekrojach pryzmaty dobrze polerowane, zauważyłem we wszystkich, patrząc przez nie na płomień świecy lub też na ołów szyb, które są w oknach, że wszystko wydawało się podwójnem, choć obrazy były od siebie mało odległe. Zrozumiałem stąd powód, dlaczego to ciało tak przezroczyste nie da się użyć do lunet zbliżających, kiedy te ostatnie mają choć trochę większą długość.

.

22. Przypuszczając tedy istnienie tych fal sferoidalnych, oprócz fal sferycznych, zacząłem badać, czyby one nie mogły służyć do wytłómaczenia zjawisk załamania nieprawidłowego; zarazem starałem się dociec, jakbym mógł zapomocą tych właśnie zjawisk określić postać i przyczynę sferoid, w czem wreszcie uzyskałem pożądane powodzenie, postępując niżej podanym sposobem.

23. Rozpatrzyłem przedewszystkiem skutek fal tak wytworzonych, biorąc za punkt wyjścia promień, który pada prostopadłe na powierzchnię płaską ciała przezroczystego, w którym te fale rozchodzą się takim sposobem. Założyłem że AB jest odsłoniętą częścią powierzchni (ob. fig. 34). Ponieważ promień prostopadły do płaszczyzny, pochodzący, z odległego źródła świetlnego, po-

dług teorii poprzedniej niczem innym nie jest, jeno cząstką fali równoległej do tej płaszczyzny, więc uczyniłem przypuszczenie, że prosta RC , równa i równoległa do AB , jest częścią fali świetlnej, której punkty nieskończenie odległe $RHhC$ spotykają powierzchnię AB w punktach $AKkB$. A zatem zamiast fal

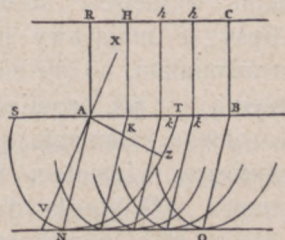


Fig. 34.

cząstkowych półsferycznych, które w ciele o załamaniu zwykłym powinny były rozchodzić się od każdego z tych ostatnich punktów, jakeśmy wyjaśnili powyżej, rozważając załamania, tu powinny były powstawać półsferoidy. Założyłem, że ich osi lub, inaczej mówiąc, średnice wielkie są ukośne względem płaszczyzny AB ; taką osią jest np. linia AV , równa $\frac{1}{2}$ osi lub $\frac{1}{2}$ średnicy wielkiej sferoidy SVT , która stanowi fałę cząstkową, wychodzącą z punktu A , po dojściu fali RC do AB .

Otóż, o ile weźmiemy pewien przeciąg czasu, w ciągu którego utworzyła się fala SVT , pochodząca z punktu A , to z konieczności i we wszystkich innych punktach KkB

w ciągu tegoż czasu powstaną fale podobne i podobnie ułożone, jak *SVT*. I wspólna styczna *NQ* tych wszystkich połówek elipsy musiałaby stanowić, podług teorii powyższej, bieg fali *RC* w danym ciele przezroczystym. Albowiem linia ta stanowi w danej chwili granicę ruchu, który był wywołany przez falę *RC*, padającą na *AB*, i na tej linii mamy daleko więcej ruchu, niż gdziekolwiekby indziej, gdyż składa się ona z niezliczonej liczby łuków elips, których środki znajdują się na linii *AB*.

24. Otóż wydawało się, że ta wspólna styczna *NQ* jest równoległa do *AB* i jest tej samej długości, lecz — nie leży bezpośrednio naprzeciw niej, ponieważ jest zawarta pomiędzy liniami *AN* i *BQ*, które są średnicami sprzężonymi względem średnic elips, które leżą na linii *AB*; elipsy te mają swe środki w *A* i *B*.¹³⁾ I tym sposobem zrozumiałem, co mi się wydawało nader trudnem do zrozumienia, — jak promień prostopadły do powierzchni mógł doznawać załamania, przechodząc do środka ciała przezroczystego; widziałem bowiem, że fala *RC*, doszedłszy do otworu *AB*, biegła dalej naprzód pomiędzy równoległymi *AN* i *BQ*, pozostając jednak wciąż równoległą do *AB*; tak, iż tu światło nie rozchodzi się wzdłuż linii prostopadłych do swych powierzchni falowych, jak w załamaniu zwykłym, lecz linie te przecinają fale ukośnie.

25. Poszukując potem, jaką mogła być przyczyna i forma sferoid w kryształach, wziąłem pod uwagę, że wszystkie ściany w liczbie sześciu wytwarzają ściśle te same załamania. Powracając więc do równoległościanu *AFB* (fig 35), którego kątem bryłowym rozwartym, znajdującym się pomiędzy trzema płaskimi równymi, jest *C*, pomyślałem sobie trzy przekroje główne, z których jeden jest prostopadły do ściany *DC* i przechodzi przez krawędź *CF*, drugi, przechodząc przez krawędź *CA*, jest prostopadły do ściany *BF* i trzeci, prostopadły do ściany *AF*, przechodzi przez krawędź *BC*. Widziałem, że załamania promieni padających, należących do tych trzech płaszczyzn, są wszystkie jednakowe. Lecz nie mogło być innej sferoidy, któraby

była w tym samym stosunku względem tych trzech przekrojów, niż sferoida, której oś była zarazem osią kąta bryłowego C . Biorąc to za punkt wyjścia, dostrzegłem, że oś tego kąta, to jest prosta, która z punktu C przechodziła przez kryształ, mając jednakowe nachylenie względem krawędzi CF , CA , CB , była linią, która określała położenie osi wszystkich fal sferoidalnych, których powstawanie w jakimkolwiek punkcie, wziętym wewnątrz lub na powierzchni kryształu, moglibyśmy sobie wyobrazić; gdyż wszystkie te sferoidy musiały być do siebie podobne i musiały mieć osi względem siebie równoległe.

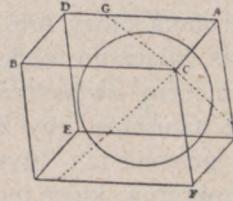


Fig. 35.

43... Lecz aby każdy, kto będzie posiadał okaz tego kamienia, mógł znaleźć drogą własnego doświadczenia prawdziwość tego, co wykazałem, powiem tu o sposobie, którym się posługiwałem, aby kamień rznąć i wygładzać. Rznąć można go łatwo zapomocą ostrych kół szlifierskich, lub też tym sposobem, jakim piłuje się marmur; lecz polerowanie jest bardzo trudne i, używając zwykłych środków, prędzej się niszczy połysk powierzchni, niż się je czyni błyszczącemi.

Po wielu próbach znalazłem nareszcie, że nie trzeba bynajmniej używać do tego celu płyty metalowej, lecz szkła lustrzanego, matowego i pozbawionego połysku. Na niem, zapomocą miążkiego piasku i wody wygładza się powoli kryształ podobnie, jak to się czyni ze szklami lunet; poleruje się, pracując dalej i zmniejszając wciąż ilość materii szlifierskiej. Nie potrafiłem jednak nadać kryształowi jasności i przezroczystości doskonałej; lecz osiągnana równość płaszczyzn sprawia, że obserwuje się na nich skutki załamania lepiej niż na płaszczyznach, otrzymanych przy lu-

paniu kamieni, gdyż płaszczyzny takie zawsze mają pewne nierówności.

A nawet, gdy powierzchnia jest tylko średnio wygładzona, staje się ona nader przezroczystą, gdy ją potrzeć odrobiną oliwy lub białka, tym sposobem wykrywa się wówczas załamanie nader wyraźnie. Ten środek pomocniczy jest konieczny zwłaszcza, kiedy się pragnie polerować powierzchnie naturalne, aby zdjąć z nich nierówności; gdyż nie można uczynić ich błyszczącymi na wzór powierzchni innych przekrojów, które tem lepszego nabierają połysku, im mniej się zbliżają do tych płaszczyzn naturalnych.

Zanim zakończę rozpatrywanie tego kryształu, podam jeszcze wiadomość o zjawisku zadziwiającem, które odkryłem po napisaniu wszystkiego powyższego. Albowiem, choć dotąd nie mogłem znaleźć jego przyczyny, nie chcę dla tego zaniechać wskazania go, aby innym dać możność poszukiwania. Zdaje się, że należałoby uczynić jeszcze inne przypuszczenia oprócz tych, które ja uczyniłem; jednak, pomimo to, moje założenia zachowują całe swe prawdopodobieństwo, albowiem były przecież potwierdzone tyłoma doświadczeniami.¹⁴⁾

Zjawisko polega na tem, że, biorąc dwa kawałki kryształu tego i przykładając jeden do drugiego, bądź też pozostawiając pomiędzy nimi odstęp, zauważymy, co następuje. Jeżeli wszystkie krawędzie jednego są równoległe do krawędzi drugiego, wówczas promień światła, jak AB (fig. 35) rozszczepi się na dwa w pierwszym kawałku, mianowicie—na BD i BC , stosownie do dwu załamań: prawidłowego i nieprawidłowego; przenikając stąd do drugiego kawałka, każdy z promieni przejdzie przezeń, nie dzieląc się więcej na dwa; lecz promień, który był wytworzony przez załamanie prawidłowe, jak tu DG , da potem tylko załamanie prawidłowe wzdłuż GH , a drugi—nieprawidłowe wzdłuż EF . I ta sama rzecz zachodzi nie tylko w tej pozycji, lecz również i w tych wszystkich, w których przekroje główne jednego i drugiego kawałka znajdują się w tej samej płaszczyźnie, nie jest też potrzebnem, żeby powierzchnie do siebie zwrócone były równoległe. Otóż jest rzeczą zdumiewającą, że

promienie CE i DG , przechodząc z powietrza do kryształu dolnego, nie dzielą się jak promień pierwszy AB . Gotowibyśmy powiedzieć, że promień DG , przechodząc przez górny kawałek kryształu, utracił to, co jest niezbędnem do poruszania materyi, która służy do załamania nieprawidłowego i — że CB ze swej strony również stracił to, czego trzeba do poruszania materyi, która służy do załamania prawidłowego; lecz jest jeszcze inna okoliczność, która obala to rozumowanie. A mianowicie,

kiedy umieścimy dwa kryształy tak, że płaszczyzny, stanowiąca przekroje główne, przecinają się pod kątem prostym (zaś powierzchnie do siebie zwrócone mogą być równoległe lub nierównoległe), wówczas promień, który powstał z załamania pra-

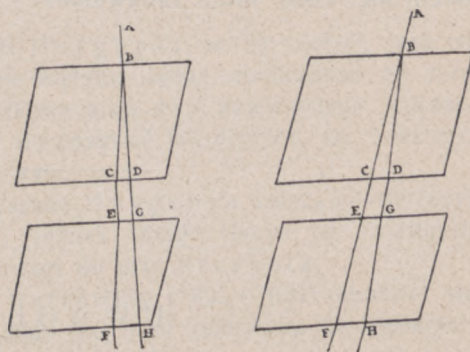


Fig. 35.

widłowego, jak DG , daje w kawałku dolnym tylko załamania nieprawidłowe, a przeciwnie promień, który powstał przez załamanie nieprawidłowe, jak CE , daje tylko załamanie regularne.

Lecz we wszystkich innych nieskończenie licznych położeniach, oprócz tych, które dopiero co określiłem, promienie DG , CE dzielą się znowu każdy na dwa, wskutek załamania w kryształach dolnym; tak iż z jednego promienia powstają cztery, to jednakowej jasności, to znów — jedne znacznie mniej jasne od drugich, zależnie od różnic w zbiegu pozycji kryształów; jednak wydaje się, że wszystkie razem nie mają więcej światła, niż jeden jedyny promień AB .

Jeżeli się tu zważy, że promienie CE , DG pozostają te same, a jednak od pozycji, którą nadajemy kryształowi dolnemu, zależy to, czy on podzieli każdy z nich, czy też nie, gdy tymczasem promień AB zawsze się dzieli, to, zdaje

się, jesteśmy zmuszeni przypuścić, że fale świetlne, wskutek przejścia przez kryształ pierwszy, nabierają pewnej formy lub dyspozycyi, wskutek której, spotykając tkaninę drugiego kryształu w pewnem położeniu, mogą poruszać obydwie różne materye, które służą do dwu rodzajów załamania; spotykając zaś ten drugi kryształ w pozycyi innej, mogą poruszać tylko jedną z tych materyi. Lecz, jeżeli mam powiedzieć, jak to się dzieje, to przyznaję, iż dotychczas nie znalazłem nic, coby mnie zadawałało.

.....

U W A G I.

¹⁾ (Str. 227). Kwestya mechanistycznego na świat poglądu jest do dnia dzisiejszego żywotna. Zagadnienie właściwie ma charakter metafizyczny i, jako takie, rozstrzygnięcia naukowego mieć nie może. W każdym razie dążenie do sprowadzenia zjawisk wszelkich do mechaniki dało pochop do najwspanialszych odkryć w dziedzinie fizyki; na gruncie tym powstała teoria falowa światła, teoria Maxwellowska zjawisk elektrodynamicznych i teoria kinetyczna gazów. Badając rzeczy nowe, fizyk eksperymentator musi starać się wyrobić sobie o rzeczach tych wyobrażenie i szuka analogii mechanicznych. Wynika stąd, że dążenie do wyjaśnienia mechanicznego natury nigdy chyba nie straci swej wartości poznawczej. Zauważymy jednak, że w fizyce teoretycznej spółczesnej zauważyć się daje tendencya przeciwna mechanizowaniu zjawisk. Naczelną dziś teorią elektronową wychodzi z równań stanowiących uogólnienie doświadczeń w dziedzinie elektrodynamiki i drogą badania matematycznego wyciąga z nich dalsze wnioski. Podług niektórych teoretyków teoria elektromagnetyczna ma wchłoniąć w siebie i dziedzinę mechaniki.

²⁾ (Str. 228). Podług obecnych danych (prędkość światła — $3 \cdot 10^{10} \frac{cm.}{sek.}$, prędkość głosu około $340 \frac{m.}{sek.}$) stosunek ten równa się prawie 900000.

³⁾ (Str. 235). W tem miejscu i w następnych rozdziałach formułuje Huygens i rozwija słynną swą zasadę, z której wynika teoria załamania i odbicia fal. Traktowanie tej rzeczy przez oryginał jest zawilsze, niż wykład podręcznikowy obecnie przyjęty. Odsyłamy przeto czytelnika, pragnącego poznać teorię Huygensa, do „Zasad“ prof. Witkowskiego: I, art. 200, 201 (ustęp końcowy od str. 454), 203.

Zauważymy, że zasada Huygensa w tej postaci, jaką jej nadał twórca, nie wytrzymuje krytyki. Jedna okoliczność od razu rzuca się w oczy: fale cząstkowe mają dwie powierzchnie styczne, więc fale świetlne powinny się posuwać tak naprzód, jak i wstecz; tego zaś nigdy nie obserwujemy.

Fresnel uzupełnił zasadę Huygensa zasadą interferencji fal cząstkowych; i w tej jednak formie teoria fal świetlnych jest nie doskonała. Patrz uwagi do prac Fresnel'a.

⁴⁾ (Str. 236). Erazm Bartholin (1625—1694) zajmował się matematyką i medycyną. Znany jest jako odkrywca dwójłomności spatu islandzkiego.

⁵⁾ (Str. 237). Woda silna („eau forte“ oryginału) oznacza tu kwas. Przy działaniu kwasu na spat Islandzki, którego wzór jest $CaCO_3$, wydziela się dwutlenek węgla.

⁶⁾ (Str. 237). Kryształ górny lub kwarc jest krystalicznym SiO_2 .

⁷⁾ (Str. 238). Te same stosunki geometryczne przedstawimy na nieco odmiennym rysunku (fig 36, litery te same, co i w tekście). Różni się on od podanego w tekście tem że linia CF jest teraz skierowana do góry zamiast na dół, a płaszczyzna AB zajmuje dolną część rysunku; inaczej mówiąc, widzimy teraz kąt bryłowy C od środka. Już zupełna symetryczność pł. FCG względem ABC (CG jest z założenia dwusieczną kąta ACB) pokazuje, że FCG musi być prostopadła do ACB . Jeżeli czytelnika ten dowód nie zadawała, to wykaże on łatwo

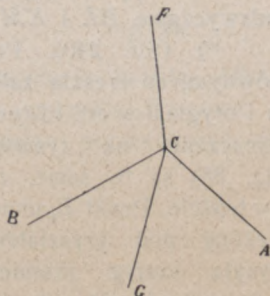


Fig. 36

prawdziwość powyższego twierdzenia zapomocą konstrukcyi następującej (fig. 37). Połączmy na rysunku poprzednim (fig. 36) punkt

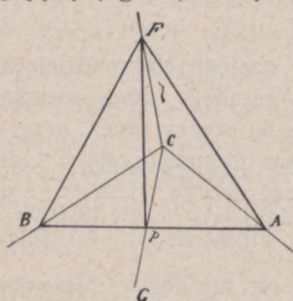


Fig. 37.

F z punktem P na linii CG i przez P poprowadźmy prostopadłą AB do CG , która to prostopadła ma leżeć w pł. ABC . Jeżeli dowiedzimy, że ona jest prostopadła również do linii FP , to wynikać będzie stąd zarazem, że jest ona prostopadła do płaszczyzny FCG , a zatem,—że i płaszczyzny ABC i FCG są do siebie prostopadłe. Rozpatrzmy trzy pary trójkątów:

I. $\triangle ACP$ i $\triangle BCP$.

Z konstrukcyi wynika, że te trójkąty są prostokątne; bok CP mają wspólny i $\angle BCG = \angle ACG$ z założenia. A więc trójkąty są sobie równe, stąd wynika, że $BC = AC$.

II. $\triangle BCF$ jest równy $\triangle ACF$, gdyż z założenia o tem, że kąty płaskie kąta bryłowego C są sobie równe, wynika, że $\angle FCB = \angle FCA$; bok CF jest wspólny i na podstawie poprzedniego $BC = AC$. Stąd wnioskujemy, że $FB = FA$.

III. $\triangle BFP$ i $\triangle AFP$ leżą w jednej płaszczyźnie i są sobie równe, gdyż, jak łatwo na zasadzie poprzedniego okazać, trzy ich boki są sobie równe. Wynika stąd, że kąty przyległe BGF i AGF są proste, czego należało dowieść.

⁸⁾ (Str. 238). Autor, nie uprzedzając czytelnika, przechodzi do rozpatrzenia przebiegu promieni w kierunku odwrotnym. Chodzi mu o wyjaśnienie, dlaczego punkt L widzimy podwójnie.

⁹⁾ (Str. 238). Gdyby punkt I znajdował się nieskończoności, promienie IB i IK byłyby równoległe, a zatem i załamane promienie nadzwyczajne BL i KM również byłyby równoległe.

¹⁰⁾ (Str. 240). Przedstawmy bieg promieni w przekroju głównym, co zresztą zaleca i oryginał w art. 13-tym. Oznaczenia na rysunku (fig. 38) są te same, co i w tekście. Punkt E , umieszczony pod kryształem, wysłał szereg promieni w kierunkach różnych. Jeżeli chwilowo poprzesta-

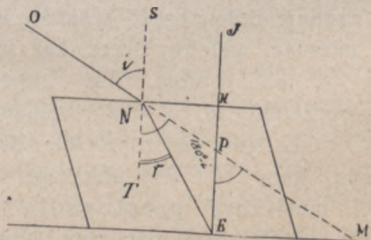


Fig. 38.

niemy na rozpatrzeniu załamania zwyczajnego, to promień EI , prostopadły do podstawy kryształu, pozwoli nam wyznaczyć punkt H . Potem szukamy okiem takiego promienia, którego przedłużenie przechodzi przez punkt M ; możemy wówczas naznaczyć na powierzchni górnej kryształu punkt N . Mając punkty N , H , E i M i grubość kryształu HE , będziemy mogli wykreślić odpowiednie trójkąty, jak to pokazuje figura 38. Poprowadźmy jeszcze prostopadłą SI w punkcie N . Wówczas kąty i i r będą kątami padania i załamania. Spółczynnik załamania

$$n = \frac{\sin i}{\sin r}.$$

Stosunek ten znajdziemy z trójkąta NPE .

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{NE}{NP},$$

czego należało dowieść.

¹¹⁾ (Str. 241). Wywód nie różni się niczem od poprzedniego (uw 10-ta); jedynie - zamiast promienia zwyczajnego bierzemy nadzwyczajny.

¹²⁾ (Str. 242). To jest w kwarcu.

¹³⁾ (Str. 244). Średnica sprzężona z inną dzieli na połowę tę ostatnią i wszystkie cięciwy do niej równoległe. Tak np. na fig. 39 cięciwa DD' jest sprzężona z cięciwą EE' . Każda średnica przecina elipsę w dwu punktach; jeżeli poprowadzimy styczne w tych punktach, to będą one równoległe do średnicy sprzężonej z daną średnicą. Wywód tych związków znajdzie czytelnik w podręcznikach geometrii analitycznej.

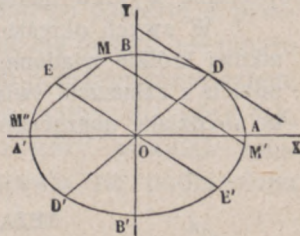


Fig. 39.

¹⁴⁾ (Str. 246). Chodzi tu o polaryzację światła. Historia potwierdziła słuszność przewidywań Huygens'a; Fresnel wytłómaczył zjawiska polaryzacji, zakładając poprzeczność drgań świetlnych.

SIR IZAAKA NEWTONA

Optyka czyli rozprawa o światła odbiciach, załamaniach, uginaniu i barwach. *)

Optyki księga pierwsza.

CZĘŚĆ PIERWSZA,

Nie jest zamiarem moim wyjaśniać w książce tej własności światła zapomocą hipotez, lecz — li tylko podać je i stwierdzić drogą rachunku i eksperymentu. W tym celu poprzedzę wykład następującymi określeniami i pewnikami.

W swych określeniach i pewnikach daje Newton czytelnikowi krótkie wiadomości o zasadniczych kwestyach z dziedziny odbicia i załamania światła. Opuszczając je, przechodzimy wprost do rozdziału, noszącego nagłówek:

T e z y.

TEZA I. TWIERDZENIE I.

Światło o różnej barwie posiada też różne stopnie łamliwości.

Dowód doświadczalny.

Doświadczenie 1. Wziąłem podłużny kawałek sztywnego papieru czarnego o brzegach równoległych i zazna-

*) Opticks or, a treatise of the reflections, refractions, inflections and colours of light. (Pisownia oryginału) (1704). Tłómaczono z przekładu Wiliama Abendrotha w Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften (№ 96 i 97 tego wydawnictwa).

czyłem na nim zapomocą linii poprzecznej, prostopadłej, względem obydwu boków dwie części równe. Jedną połowę pomalowałem farbą czerwoną, drugą zaś—niebieską. Papier był bardzo czarny, farby zaś nałożono intensywnie i grubo, aby zjawisko występowało wyraźniej. Papier ten obserwowałem przez masywny pryzmat szklany; dwa jego boki, przez które światło dochodziło do oka, były równe i dobrze wypolerowane i tworzyły ze sobą kąt około 60° ; kąt ten nazywam *kątem łamiącym pryzmatu*. Przy obserwacji trzymałem papier i pryzmat przed oknem tak, że długie boki papieru i krawędzi pryzmatu były do siebie równoległe, i wszystkie one, jako też i linie poprzeczne, były poziome; światło, padające z okna na papier, tworzyło z nim taki sam kąt, jak i światło odbite od pasma papieru w kierunku oka. Poza pryzmatem (z punktu widzenia obserwatora) pod oknem ściana pokoju była całkowicie pokryta czarnym sukniem, a to ostatnie tak było pogrążone w ciemności, iż stamtąd światło wcale nie było odbijane. Więc też nie mogło ono mieszać się ze światłem, idącym od samego papieru, a przechodząc koło brzegów papieru i dostając się do oka, nie mogło komplikować przez to zjawiska. Przy tem urządzeniu znalazłem, że, kiedy kąt łamiący pryzmatu był zwrócony do góry tak, że papier wydawał się podniesiony do góry wskutek załamania, to niebieska jego połowa wydawała się podniesiona wyżej wskutek załamania, niż czerwona (fig. 40). Jeżeli jednak zwrócimy kąt łamiący pryzmatu ku dołowi tak, aby papier przez załamania wydawał się przesunięty na dół, wówczas połowa niebieska wyda się położona nieco niżej od czerwonej. A zatem w obu przypadkach światło niebieskiej połowy papieru, dochodząc przez pryzmat do oka, doznaje przy innych oko-

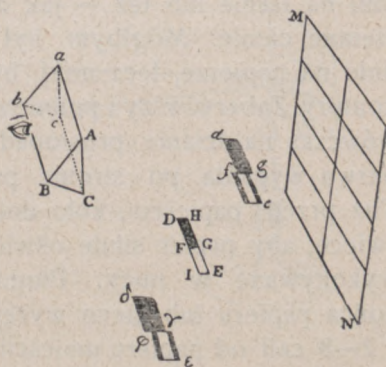


Fig. 40.

licznościach jednakowych załamania silniejszego od światła, idącego od połowy czerwonej; jest ono więc *silniej łamliwe*.

Na fig. 40 *MN* przedstawia okno, *DE* papier z równoległymi bokami *DI* i *HE*; zapomocą linii poprzecznej *FG* jest on podzielony na dwie połowy, z których *DG* jest intensywnie niebieska, druga zaś *FE* intensywnie czerwona. *BAC cab* jest to pryzmat, którego łamiące powierzchnie *ABba* i *ACca* przecinają się wzdłuż krawędzi łamiącej *Aa*. Znajduje się ona u góry i jest równoległa zarówno względem horyzontu, jako też do obwodu boków papieru *DI* i *HE*, a linia poprzeczna *FG* jest prostopadła do płaszczyzny okna. Dalej znów *de* przedstawia obraz papieru, który wskutek załamania wydaje się podniesiony w ten sposób, że część niebieska *DG* jest podniesiona do *dg*, to jest wyżej, niż część czerwona, która ukazuje się w *fe*; niebieska zatem doznaje załamania silniejszego. Jeżeli natomiast kąt łamiący jest na dole, to obraz papieru załamuje się ku dołowi, np. ku $\delta\epsilon$, i niebieska połowa papieru ukazuje się w $\delta\gamma$, głębiej jeszcze, niż czerwona $\varphi\epsilon$.

Doświadczenie 2. Około wspomnianego papieru, którego obie połowy były pomalowane na czerwono i na niebiesko i który był tak sztywny, jak cienka tektura, owinałem wielokrotnie cienką nitkę bardzo czarnego jedwabiu tak, że pojedyncze części nitki wyglądały jak tyleż czarnych linii na farbie lub też — jak długie cienkie, padające na nią ciemne cienie. Mógłbym był poprowadzić piórem czarne linie na papierze, lecz nitki były cieńsze i miały ostrzejsze kontury. Zabarwiwszy i poliniowawszy papier, umocowałem go wówczas na ścianie prostopadle do poziomu tak, że jedna barwa wypadła po stronie prawej, a druga — po lewej. Tuż przed papierem, koło dolnej granicy barw, ustawiłem świecę, aby papier silnie oświetlić, gdyż doświadczenie było wykonywane w nocy. Płomień świecy dosięgał dolnego końca papieru lub nieco wyżej. Potem w odległości 6 stóp i 2—3 cali od papieru umieściłem w pokoju soczewkę o średnicy $4\frac{1}{2}$ cala, która miała zbierać promienie, pochodzące z różnych punktów papieru i miała je doprowadzać do zbież-

ności w tyluż punktach poza soczewką w tej samej odległości 6 stóp 2—3 cali; tym sposobem miała ona rzucać obraz papieru barwnego na papier biały tym samym sposobem, jak soczewka wstawiona w otwór okna rzuca obraz przedmiotów zewnętrznych na biały arkusz papieru. Wspomniany papier biały, który był ustawiony prostopadłe względem horyzontu i względem padających nań od soczewki promieni, przysuwałem lub odsuwałem od czasu do czasu od soczewki aby znaleźć miejsca, gdzie obrazy części niebieskiej i czerwonej papieru barwnego występowały najwyraźniej. Te miejsca poznawałem łatwo zapomocą obrazów czarnych linii, które dawał owinięty jedwab. Gdyż obrazy tych cienkich linii, które, ze względu na swój czarny kolor, wydawały się cieniami na barwach, były niewyraźne i ledwo widzialne, o ile barwy z obydwu stron każdej linii nie były zupełnie wyraźnie określone. Gdy więc obserwowałem, jak mogłem najdokładniej, miejsca, gdzie obrazy czerwonych i niebieskich połówek papieru były najbardziej ostre, znalazłem, że tam gdzie czerwień była najwyraźniejsza, błękit wydawał się tak niewyraźnym, iż zaledwie można było zauważyć na nim czarne linie, i—odwrotnie: gdzie błękit był najwyraźniejszy, czerwień wydawała się niewyraźna, i jej czarne linie były zaledwie dostrzegalne. Pomiedzy temi dwoma miejscami największej wyrazistości był odstęp około $1\frac{1}{2}$ cala; a mia-

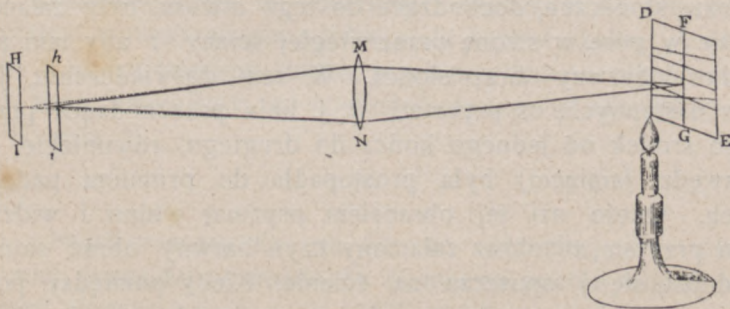


Fig. 41.

nowicie odległość białego papieru od soczewki wówczas, gdy czerwona połowa barwnego papieru dawała obraz naj-

wyraźniejszy, była o $1\frac{1}{2}$ cala większa niż odległość tegoż białego papieru od soczewki, kiedy obraz niebieskiej połowy wydawał się najbardziej ostry. A zatem przy jednakowym padaniu na soczewkę błękitu i czerwieni, błękit o tyle silniej był przez soczewkę załamany, że zbierał się o $1\frac{1}{2}$ cala bliżej; błękit tedy silniej jest łamliwy.

Niech na fig. 41 *DE* oznacza papier barwny, *DG* — połowę niebieską, *FE* — połowę czerwoną, *MN* — soczewkę, *HI* — papier biały w tem miejscu, gdzie czerwona połowa ze swemi czarnymi liniami była najwyraźniejsza, i *hi* ten sam papier w tem miejscu, gdzie niebieska połowa wydawała się najwyraźniejsza. Miejsce *hi* było o $1\frac{1}{2}$ cala bliższe soczewki, niż — *HI*.

TEZA II. TWIERDZENIE II.

Światło słońca składa się z promieni różnej łamliwości.

Dowód doświadczalny.

Doświadczenie 3. W zupełnie ciemnym pokoju postawiłem pryzmat szklany przed okrągłym, około $\frac{1}{3}$ cala szerokim otworem, który zrobiłem w okiennicy, aby promienie słoneczne, dochodzące do tego otworu, były załamane w górę w stronę przeciwległej ściany i aby tam powstawał barwny obraz słońca. W tem doświadczeniu, jak i w następnych, oś pryzmatu (t. j. linia przechodząca przez jego środek od jednego końca do drugiego, równoległe do krawędzi łamiącej) była prostopadła do promieni padających. Około osi tej obracałem pryzmat wolno i widziałem przytem, że obraz załamany czyli barwny obraz słońca podnosi się i opuszcza na ścianie. Kiedy pomiędzy podnoszeniem się a opadaniem obrazu wydawało się, iż obraz zatrzymuje się w spoczynku, pozostawiłem i umocowałem pryzmat w tem położeniu tak, że nie mógł się on dalej poruszać. Albowiem w tem położeniu załamania światła były sobie

równe po obu stronach kąta łamiącego, t. j. przy wejściu i przy wyjściu promieni z pryzmatu. ¹⁾ Takim sposobem, i przy innych okolicznościach, ilekroć chciałem mieć wzajemnie równe załamania z obydwu stron pryzmatu, określałem miejsce, gdzie obraz słońca, wytworzony przez światło załamane, zatrzymywał się nieruchomo pomiędzy swymi dwoma ruchami przeciwnymi przy zmianie ruchu postępowego na ruch wsteczny; kiedy tylko obraz padał na to miejsce, umocowywałem pryzmat.

W następnych doświadczeniach należy zawsze przyjmować, o ile wyraźnie nie jest podana inna przyczyna, że wszystkie pryzmaty są doprowadzone do tego położenia, jako do najodpowiedniejszej. A zatem w tej pozycji pryzmatu rzucałem światło załamane prostopadle na arkusz białego papieru na przeciwległej ścianie pokoju i obserwowałem postać i wymiary obrazu słońca, wytworzonego przez światło na papierze. Obraz ten był podłużny, jednak nie owalny, lecz ograniczony przez dwa boki proste i równoległe, na końcach zaś — przez dwa półkola. Na bokach swych był on zupełnie wyraźnie ograniczony, lecz przy końcach zamglony i niewyraźny, gdyż światło stawało się tam wciąż słabszem i stopniowo znikało. Szerokość tego obrazu odpowiadała średnicy słońca i wynosiła łącznie z półcieniem około $2 \frac{1}{8}$ cala. Obraz był mianowicie o $18\frac{1}{2}$ stopy odległy od pryzmatu, i na tej odległości szerokość obrazu, przez pryzmat wytwarzanego, odpowiadała kątowi około $\frac{1}{2}^{\circ}$, który jest średnicą pozorną słońca, jeżeli przy tem szerokość obrazu tego zmniejszyć o średnicę otworu w okiennicy, t. j. o $\frac{1}{4}$ cala. ²⁾

.....

Niech oznacza EG na fig. 42 okiennicę, F — otwór w niej, przez który wpada do ciemnego pokoju wiązka promieni słonecznych, i — $\triangle ABC$ środkowy przekrój pryzmatu w miejscu przechodzenia światła. Lub też, jeżeli chcemy, niech ABC przedstawia sam pryzmat, zwrócony swym końcem do oka obserwatora; i niech XY oznacza słońce,

MN — papier, na który się rzuca obraz słońca czyli widmo i PT — sam obraz. Boki tego ostatniego przy v i w są prostoliniowe i równoległe; powierzchnie końcowe

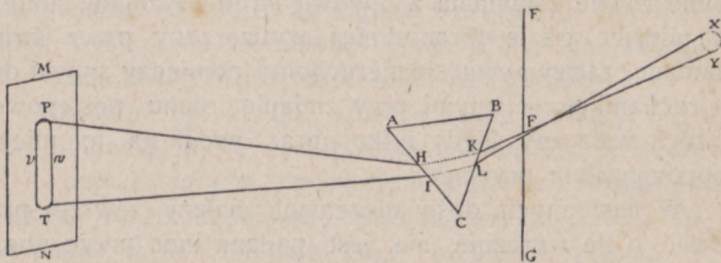


Fig. 42.

przy P i T są półkoliste. Niech dalej $YKHP$ i $XLIT$ będą dwoma promieniami, z których pierwszy, przychodzący od dolnych części słońca, idzie ku najwyższej części obrazu i w pryzmacie załamuje się w K i H , gdy ostatni, przybywając z najwyższej części słońca, doznaje załamania w L i I i dostaje się do dolnej części obrazu.

Tym więc sposobem podług prawideł zwykłej optyki, długość obrazu PT odpowiadałaby kątowi $1/2^\circ$ przy wejściu do pryzmatu i powinnyby zatem być równa szerokości wv , wobec czego obraz byłby okrągły. Takby się rzecz miała, gdyby obydwa promienie $XLIT$ i $YKHP$, podobnie jak wszystkie inne, które tworzą obraz $PwTv$, były jednakowo łamliwe. Ponieważ jednak doświadczenie uczy, że obraz nie jest okrągły, lecz w przybliżeniu 5 razy tak długi, jak szeroki, więc promienie, dochodzące do górnego końca obrazu P i doznające największego odchylenia, muszą być bardziej łamliwe, niż te, które dochodzą do dolnego końca T , chyba, żeby nierówność załamania była przypadkowa.

Obraz czyli widmo PT było barwne, — na mniej załamany koniec czerwone, a na silniej załamany — fioletowe, a pomiędzy temi miejscami — żółte, zielone i niebieskie. To się zgadza z pierwszym twierdzeniem, że światło różnej barwy posiada zarazem różną łamliwość. Długość obrazu w ostatnim doświadczeniu zmierzyłem od najśłabszej i najskraj-

niejszej czerwieni z jednego końca aż do najbliższego najskrajniejszego błękitu z drugiej, z wyjątkiem małego półcieńca, który, jak było powiedziane, zaledwie przenośił $\frac{1}{4}$ cala.

Doświadczenie 5. Jeśli w doświadczeniu 3 rozciągnięty obraz słońca przybrał wydłużoną postać (bądź wskutek rozszerzenia każdego promienia, bądź wskutek innej wypadkowej nierówności załamania), to przez drugie załamanie, skierowane w bok, ten sam wydłużony obraz musiałby być tyleż (dzięki tym samym przyczynom) rozwinęty wszzerz. Zważywszy to, zbadalem, jaki byłby skutek drugiego załamania tego rodzaju. W tym celu urządziłem wszystko tak, jak — w trzecim doświadczeniu, i ustawiłem dalej drugi pryzmat bezpośrednio za pierwszym w pozycji względem tego ostatniego skrzyżowanej; tym sposobem musiał on powtórnie załamywać promienie, wychodzące z pierwszego. Pierwszy pryzmat, załamywał promienie świetlne ku górze, drugi — w bok. Znalazłem wówczas, że przez załamanie drugiego pryzmatu szerokość obrazu nie powiększała się, że jednak górna jego część, która doznała silniejszego załamania w pierwszym pryzmacie a była fioletowa i niebieska, również i w drugim pryzmacie doznawała załamania silniejszego, niż dolna część obrazu, która była czerwona i żółta, przytem obraz w szerokości swej nie doznawał żadnego rozciągnięcia.

Niech na fig 43 *S* oznacza słońce, *F* — otwór w oknie, *ABC* — pryzmat pierwszy, *DH* — drugi, *Y* — okrągły obraz

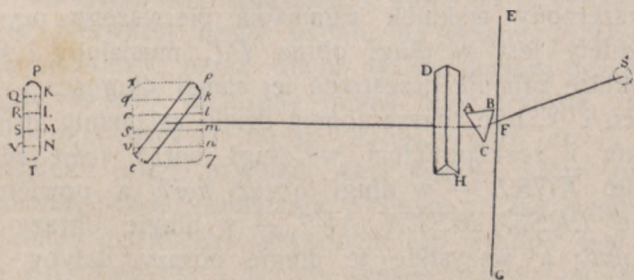


Fig. 43.

słońca, powstający przy usunięciu pryzmatów z drogi promienia idącego wprost (obraz ten jest opuszczony na figurze),

PT — podłużny obraz słońca, który dają te promienie po przejściu wyłącznie przez pierwszy pryzmat, przy pominięciu drugiego, i pt obraz, wytworzony przez skrzyżowane załamania obydwu pryzmatów.

Przypuśćmy teraz, że promienie, zdążające do różnych punktów okrągłego obrazu Y , zostają rozszerzone i rozproszone przez załamanie w pryzmacie pierwszym tak, iż nie idą już wzdłuż pojedynczych, różnych od siebie linii, ku poszczególnym różnym punktom, lecz każdy promień zostanie rozszczepiony i rozproszony i z promienia liniowego zamieniony na powierzchnię promieni rozbieżnych, które, wychodząc z punktu załamania będą leżały w płaszczyźnie kąta padania i załamania. Inaczej mówiąc, przypuśćmy, że promienie w tych płaszczyznach przebiegają w tyłuż liniach od jednego końca obrazu PT do drugiego i że z tego powodu obraz staje się wydłużony. Gdyby to wszystko tak się miało, wówczas musiałyby promienie te i ich poszczególne części, skierowane ku różnym punktom obrazu PT , zostać jeszcze raz rozszerzone, a zarazem wskutek załamania poprzecznego w pryzmacie drugim — rozproszone w bok tak, iż wytwarzałyby obraz kwadratowy, jak to jest przedstawione w πZ . Dla lepszego zrozumienia powyższego, pomysłmy sobie, że obraz PT jest rozłożony na pięć równych części PQK , $QKRL$, $LRSM$, $MSVN$ i NVT . Wskutek tej samej nieprawidłowości, dzięki której obraz kolisty Y , rozszerzony wskutek załamania pierwszego pryzmatu, rozciągnięty jest w długi obraz PT , musiałyby i światło PQK , które zajmuje przestrzeń tej samej długości i szerokości, co i Y , być rozszerzonym dzięki załamaniu drugiego pryzmatu i rozciągnięciem w długi obraz $\pi qk\phi$; również i światło $QKRL$ — w długi obraz $kqrl$, a powierzchnie świetlne $LRSM$, $MSVN$, NVT — w długie obrazy $lrsm$, $msvn$, $nv\zeta$; a wszystkie te długie obrazy dałyby razem obraz $\pi\zeta$...

Lecz sprawa przedstawia się zupełnie inaczej. Obraz PT nie stał się szerszy przez załamanie drugiego pryzmatu, lecz tylko dał obraz stojący ukośnie, jak go przedstawia pt ,

albowiem górny jego koniec P wskutek załamania bardziej został przesunięty, niż jego koniec dolny T . A zatem światło, dochodzące do górnego końca P obrazu (przy równym kącie padania) silniej zostało załamane w pryzmacie drugim, niż światło, idące do dalszego końca T , czyli — błękitna i fioletowa część zostały załamane silniej, niż czerwona i żółta; pierwsze były zatem silniej łamliwe. To samo światło zostało już dalej przesunięte od miejsca Y , ku któremu było skierowane przed załamaniem, dzięki załamaniu w pryzmacie pierwszym, a zatem doznawało zarówno w pierwszym, jak i w drugim pryzmacie, załamania silniejszego, niż całe światło pozostałe, a zatem już przed napotkaniem pierwszego pryzmatu było silniej łamliwe, niż inne rodzaje światła.

.

Doświadczenie 6. W dwu cienkich deskach zrobiłem po środku każdej okrągły otwór o średnicy $\frac{1}{3}$ cala, a w okiennicy otwór daleko większy, aby wpuścić do mego zaciemnionego pokoju grubą wiązkę promieni słonecznych. Za okiennicą wstawiłem pryzmat w bieg tych promieni tak, żeby one były załamywane ku ścianie przeciwległej; a tuż za pryzmatem umocowałem jedną z desek tak, iż środek światła załamanego przechodził przez otwór w desce, a pozostałe światło było przez nią zatrzymywane. Ustawiłem wówczas w odległości około 12 stóp od deski deskę drugą tak, że środek światła załamanego, które po przejściu przez otwór w pierwszej desce padało na ścianę przeciwległą, mógł przechodzić przez otwór w tej drugiej desce, podczas gdy światło pozostałe przez nią przejęte, wytwarzało na niej barwny obraz słońca. Tuż za tą deską umocowałem drugi pryzmat, aby światło, które przeszło przez otwór, poddać załamaniu. Potem prędko powróciłem do pryzmatu pierwszego, obracałem go zwolna tam i napowrót koło jego osi i w ten sposób poruszałem do góry na dół obraz padający na drugą deskę tak, iż wszystkie części światła jedna po drugiej przechodziły przez otwór te deski i padały na ustawiony poza nią pryzmat. Uważałem

przy tem, na jakie miejsce na ścianie przeciwległej padało to światło po załamaniu w drugim pryzmacie. Znalazłem z różnicy tych miejsc, że to światło, które, będąc najsilniej załamane przez pryzmat pierwszy, dochodziło do niebieskiego końca obrazu, i w drugim pryzmacie było silniej załamywane, niż światło, idące do części czerwonej obrazu tego. To potwierdza tak pierwsze, jak i drugie doświadczenie. Wszystko to zachodziło niezależnie od tego, czy osi obydwu pryzmatów były równoległe, czy też dowolnie nachylone względem siebie lub względem horyzontu.

Niech F na fig 44 oznacza szeroki otwór w okiennicy, przez który słońce oświetla pierwszy pryzmat ABC i niech światło załamane pada na środek deski DE , a środkowa część światła tego — na otwór G , zrobiony po środku tej deski. Niech ta przepuszczona część światła pada znów na



Fig. 44.

środek drugiej deski de i niech tu tworzy podłużne widmo barwne słońca, jak to jest opisane w doświadczeniu trzecim. Jeżeli teraz obracać powoli pryzmat ABC około jego osi, to obraz ten na desce de podnosi się i opada, i tym sposobem przechodzą stopniowo przez otwór g , który jest po środku tej deski, wszystkie części widma, od jednego końca do drugiego. Tymczasem umieszcza się inny pryzmat abc tuż za otworem g , aby drugi raz załamać światło przepuszczone. Gdy to wszystko tak urządziłem, zwracałem uwagę na miejsca M i N ściany przeciwległej, na które padało światło załamane, i znalazłem, że zmieniały się one wciąż, gdy obracałem pierwszy pryzmat koło osi jego, podczas gdy

dwie deski i drugi pryzmat pozostawały niezmienione. Kiedy mianowicie dolna część światła, padającego na drugą deskę *de*, przechodziła przez otwór *g*, to światło spotykało niższe miejsce *M* ściany; a kiedy przez ten sam otwór przechodziła część górna, napotykała ona wyżej położone miejsce ściany *N*, i, kiedy przechodziła pośrednia część światła, napotykała ona miejsce pomiędzy *M* i *N*. Niezmienne położenie otworów w deskach warunkowało dokładnie jednakowy kąt padania promieni na drugi pryzmat we wszystkich razach; że jednak, pomimo jednakowego padania, niektóre promienie były silniej załamywane, inne — mniej: silniej mianowicie były załamywane w drugim pryzmacie te promienie, które, wskutek silniejszego załamania w pierwszym pryzmacie, były bardziej odchyłone w bok; ponieważ zatem były one stałe silniej załamywane, niż inne, więc zupełnie słusznie zostały nazwane silniej łamliwymi.

CZĘŚĆ DRUGA.

TEZA V. TWIERDZENIE 4.

Barwa biała i wszystkie barwy szare pomiędzy białą i czarną mogą być złożone z barw; barwa biała światła słonecznego składa się z barw pierwotnych, które są zmieszane w odpowiednim stosunku.

Dowód doświadczalny.

Doświadczenie 10. Niech teraz pada widmo obrazu słońca na soczewkę *MN*, mającą więcej, niż 4 cale wielkości, i około 6 stóp odległą od pryzmatu *ABC*, która to soczewka barwne rozbieżne za pryzmatem światło czyni zbieżnym i zbiera je w swem ognisku *G*, odległym około 6 — 8 stóp od soczewki, gdzie ono pada prostopadle na biały papier *DE*. Jeżeli teraz będziemy poruszali ten papier tam i napowrót, zauważymy, że bliżej soczewki, około *de* na przykład, pojawia się na papierze cały obraz słoneczny *pt* intensywnie zabarwiony, jak to było opisane powyżej, — że

jednak, przy większej odległości od soczewki, barwy coraz się zbliżają do siebie i wskutek zmieszania stają się wciąż mniej wyraźne, aż w końcu papier dochodzi do ogniska G , w którym, dzięki doskonałemu zmieszaniu, znikają one całkowicie i przemieniają się w barwę białą; całe światło wydaje się wówczas na papierze małym, białym krążkiem. Po-

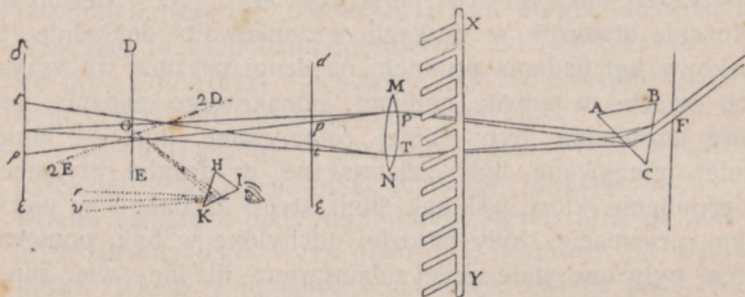


Fig. 45.

tem, gdy papier zostanie jeszcze bardziej oddalony od soczewki, promienie poprzednio zbieżne skrzyżują się w ognisku G i stamtąd będą się rozchodziły i znów okażą barwy, lecz—w porządku odwrotnym; np. w $\delta\epsilon$, gdzie czerwień t jest teraz u góry, gdy przedtem była na dole; a fiolet, który przedtem był u góry, teraz będzie na dole.

Teraz umieścimy na stałe papier w ognisku G , gdzie światło wydaje się zupełnie białem i okrągłym, i rozpatrzmy tę białą barwę; ja twierdzę, że ta barwa biała jest złożona z barw zbiegających się. Albowiem, jeżeli jedna jakakolwiek z tych barw lub ich kilka zostaną zatrzymane koło soczewki, to barwa biała znika i przechodzi w te barwy, które powstają przez złożenie innych promieni nie zatrzymanych. Jeżeli wówczas przepuścić zatrzymane barwy i rzucić je na tę barwę złożoną, to mieszają się one z nią i znów wytwarzają dzięki temu barwę białą. Jeżeli np. zostaną zatrzymane barwy fioletowa, niebieska i zielona, to pozostałe żółta, pomarańczowa i czerwona przechodzą razem na papierze w rodzaj barwy pomarańczowej; jeżeli wówczas przepuścimy barwy zatrzy-

mane, to upadną one na tę złożoną barwę pomarańczową i dadzą wraz z nią przez podwójne sumowanie barwę białą. Lub jeżeli zatrzymamy czerwień i fiolet, to pozostałe promienie żółte, zielone i niebieskie dadzą na papierze zieleni pewnego rodzaju; jeżeli potem rzucimy na tę zieleni czerwień i fiolet, to przez to podwójne sumowanie powstaje barwa biała. Prócz tego na podstawie poniższych dowodów stanie się dalej jasnym, że, przy tem składaniu barwy białej, różne promienie jako barwy nie doznają wskutek wzajemnego oddziaływania zmian żadnych w swych własnościach, lecz tylko zostają zmieszane i wskutek zmieszania wytwarzają barwę białą.

Jeżeli papier jest umieszczony poza G , np. w $\delta\epsilon$, i jeżeli barwa czerwona będzie w pobliżu soczewki to zatrzymywana, to przepuszczana, to na papierze nie zajdzie żadna zmiana w fiolecie, jakby to przecieć być powinno, gdyby różne rodzaje promieni wzajemnie na siebie oddziaływały w ognisku G , gdzie się krzyżują. Podobnie nie zmienia się na papierze czerwień przez kolejne zatrzymywanie i przepuszczanie fioleto.

.....

Wreszcie sporządziłem sobie przyrząd XY w postaci grzebienia, którego zęby w liczbie 16 miały w przybliżeniu $1\frac{1}{2}$ cała szerokości, a pomiędzy nimi były luki dwucalowe. Wsuwając po kolei zęby tego grzebienia w bieg promieni w pobliżu soczewki, zatrzymywałem za pomocą nich część barw, podczas gdy pozostałe barwy przez luki dochodziły do papieru DE i tam rzucały okrągły obraz słońca. Papier ustawiłem z początku tak, żeby obraz wydawał się biały, jak tylko się usunie grzebień; kiedy go następnie opisanym sposobem wstawiałem w bieg promieni, to, wskutek zatrzymania koło soczewki części barw, barwa biała przechodziła za każdym razem w barwę, która składała się z barw niezatrzymanych; barwa ta zmieniała się wciąż przy poruszaniu grzebienia, — tak mianowicie, że przy każdym przechodzeniu zęba koło soczewki, następowały po sobie wszystkie barwy: czerwona, żółta, zielona, niebieska, purpurowa. Przesuwałem tedy koło so-

czewki po kolei wszystkie zęby; kiedy ruch odbywał się wolno, widziało się na papierze kolejne następstwo barw; lecz kiedy ruch przyspieszałem tak, że barwy wskutek szybkiego następowania po sobie nie mogły być od siebie odróżniane, wówczas znikają barwy poszczególne; nie widać było więcej ani barwy czerwonej, ani żółtej, ani zielonej, ani niebieskiej, ani też purpurowej, lecz przez zmieszanie wszystkich powstawała jednolita barwa biała... Kiedy wrażenia następują po sobie tak wolno, że mogą być oddzielnie odbierane, wówczas powstaje wyraźne wrażenie wszystkich barw poszczególnych w ich ciągłym następstwie, kiedy jednak one następują po sobie tak prędko, że nie są dostrzegane z osobna, to z ich całości powstaje wspólne wrażenie nie tej lub owej barwy, lecz—wszystkich bez wyjątku, i to jest wrażenie barwy białej. Wskutek prędkości kolejnego następowania po sobie, wrażenia barw różnych mieszają się w naszym organie zmysłów i wzbudzają uczucie mieszane. Kiedy obracamy po kole rozżarzony węgiel prędkim, wciąż powtarzającym się ruchem, to całe koło wydaje się ognistym; przyczyna polega na tem, że wrażenie świetlne węgla trwa w oku w różnych punktach koła, dopóki węgiel nie powróci na to samo miejsce. Również przy każdym prędkim kolejnym następstwie barw pozostaje w nas wrażenie każdej barwy, póki nie przejdą po kolei wszystkie barwy i nie wróci pierwsza. Dlatego też wrażenia wszystkich barw po kolei są jednoczesne w naszej jaźni i wzbudzają wspólnie wrażenie barw wszystkich. A więc jasnym jest z tego doświadczenia, że mieszane wrażenia barw wszystkich wytwarzają uczucie barwy białej, t. j., — że kolor biały złożony jest z wszystkich barw.

Kiedy teraz odjęto grzebień tak, że wszystkie barwy, wychodzące z soczewki, padały razem na papier, tam się mieszały i stamtąd były odbijane do oka obserwatora, to wrażenie, wywierane przez nie na organ zmysłów, musiało wywoływać jeszcze żywsze uczucie białości, a to — wskutek subtelniejszego i doskonalszego zmieszania.

Doświadczenie 15. Kiedy wreszcie spróbowałem złożyć barwę białą przez zmieszanie proszków barwnych,

jakich używają malarze, zauważyłem, że wszystkie proszki barwne znoszą znaczną część światła, które na nie pada, i zatrzymują w sobie. Albowiem stają się one barwne przez to, że odbijają obficie światło swej własnej barwy, a światło wszystkich innych barw odbijają skąpiej; a jednak odbijają one światło swej własnej barwy nie w tej ilości, jak to czynią ciała białe. Jeżeli, na przykład, biały papier i minię wystawimy na czerwone światło widma, wytworzonego w ciemnym pokoju przez załamane w pryzmacie, jak było opisane w trzecim doświadczeniu części pierwszej, to papier będzie błyszczał jaśniej, niż minia, a zatem odbija promienie, wzbudzające czerwień, w większej ilości, niż minia. Jeżeli trzymać te ciała w innej barwie, to światło odbite od papieru przewyższa światło odbite od minii w jeszcze większym stosunku. Ten sam przypadek zachodzi przy innych proszkach barwnych. Dla tego nie powinniśmy oczekiwać, że otrzymamy przez zmieszanie takich proszków silną, czystą barwę białą, jaką jest barwa papieru, lecz tylko — barwę cokolwiek zamierzchłą, ciemną, jaką daje mieszanina światła i mroku, bieli i czerni, t. j. rodzaj koloru szarego lub brunatnego, brunatnego zwanego rosyjskim, podobnego na przykład do barwy ludzkich paznogi lub myszy, popiołu, zwykłych kamieni, gliny, pyłu, błota na drogach lub tym podobnych. Taki ciemny kolor biały wytwarzałem często przez mieszanie proszków kolorowych. ³⁾

W końcu części 1-szej napotyamy zastosowania teorii barw: wyjaśnienie tęczy i barw ciał w świetle odbitem i przechodzącym.

Optyki księga druga.

CZĘŚĆ PIERWSZA.

Spostrzeżenia nad odbiciem, załamaniem i barwami cienkich ciał przezroczystych.

Już dawniej spostrzeżono, że substancje przezroczyste, jak szkło, woda, powietrze i t. d., kiedy się je otrzyma w po-

staci cienkich warstewek przez wydymanie baniek lub też w inny sposób, pokazują stosownie do swej grubości różne barwy, choć przy większej grubości wydają się zupełnie jasne i bezbarwne. W księdze poprzedniej zaniechałem omawiania tych barw, ponieważ wydawały się one trudniejsze do badania i nie były niezbędne do wyjaśnienia badanych tam własności światła. Ponieważ jednak mogą one prowadzić do dalszych odkryć, które przyczyniają się do uzupełnienia teorii światła, szczególnie tego, co dotyczy budowy cząstek ciał naturalnych, od której zależą ich barwy i ich przezroczystość, przeto zdam tu z nich sprawę. Aby uczynić to badanie krótkim i jasnym, opiszę z początku me główne spostrzeżenia, i te potem omówię i zastosuję. Spostrzeżenia były następujące:

Przyciskając do siebie dwa pryzmaty, które zbiegiem okoliczności nie były zupełnie płaskie, zauważył Newton ciemną plamę okoloną pierścieniami barwnymi. W spostrzeżeniu 4-tem przechodzi on do klasycznego sposobu otrzymywania pierścieni interferencyjnych.

Spostrzeżenie 4-te. Aby dokładniej zbadać kolejność barw, wziąłem dwa obiektywy: płasko-wypukły od teleskopu 14 stopowego i duży dwuwypukły od teleskopu o jakichś 50 stopach długości; na drugi obiektyw położyłem pierwszy, płaską jego stroną ku dołowi, i obydwą przycisnąłem lekko do siebie, aby stopniowo wywołać barwy po środku kół; następnie unosiłem górne szkło, aby prążki znowu stopniowo doprowadzić do zaniku. Ostatnia z barw, powstająca (w danej chwili) po środku innych przy ściskaniu szkieł, ukazywała się przy owem pierwszym pojawieniu jako koło prawie równomiernie zabarwione od obwodu do środka; przy silniejszym ściskaniu szkieł stawała się ona stopniowo szerszą, dopóki nie wystąpiła po środku nowa barwa, a tamta nie przeszła wskutek tego w pierścień, obejmujący tę nową barwę. Przy jeszcze silniejszym ściskaniu szkieł wzrastała średnica pierścienia tego, a jednocześnie szerokość powierzchni pierścienia zmniejszała się, póki w jego punkcie środkowym nie wyłoniła się inna nowa barwa

i t. d. Tak występowały tam jedna po drugiej trzecia, czwarta, piąta i wciąż nowe barwy, i powstawały pierścienie, które zawierały barwę najbliższą środka; z nich ostatnią była plama czarna.

Dalszy ciąg artykułu tego zawiera szczegółowy opis barw pierścieni; najdrobniejsze szczegóły są zanotowane z podziwu godną skrupulatnością.

Spostrzeżenie 5. Aby określić odstęp pomiędzy szklami lub grubość zawartej pomiędzy nimi warstwy powietrza, przez którą były wytworzone barwy, zmierzyłem średnicę pierwszych sześciu pierścieni na najjaśniejszym miejscu ich obwodu, podniosłem te średnice do kwadratu i znalazłem, że kwadraty te tworzyły szereg arytmetyczny liczb nieparzystych 1, 3, 5, 7, 9, 11. Ponieważ jedno ze szkielek było płaskie, a drugie sferyczne, przeto odstępy w obrębie tych pierścieni musiały tworzyć ten sam postęp⁴⁾. Potem zmierzyłem średnice ciemnych i matowych pierścieni pomiędzy jasnymi barwami i znalazłem, że ich kwadraty tworzą szereg arytmetyczny liczb parzystych 2, 4, 6, 8, 10, 12. Ponieważ jednak dokładne wykonywanie takich pomiarów jest rzeczą niepewną i trudną, powtarzałem pomiary wielokrotnie w różnych miejscach szkielek, aby zgodność ich była dowodem ich prawdziwości. Podobnie postępowałem przy wielu innych pomiarach, które przedsiębrałem przy dalszych spostrzeżeniach.

Dalsza część książki tej jest poświęcona szczegółowym spostrzeżeniom nad barwami cienkich warstewek i próbie wyjaśnienia wszelkich wogóle barw własnościami cienkich warstewek powierzchniowych. Tu rozprawa nabiera charakteru spekulacyjnego. Wykład jest wszędzie ujęty w formę dedukcyjną. Podajemy tezę XII, zawierającą pogląd autora na zjawisko pierścieni barwnych.

TEZA XII.

Każdy promień świetlny przy przechodzeniu przez powierzchnię łamiącą nabiera pewnej własności lub dyspozycyi, która przy dalszym biegu

promienia powraca w równych odstępach i przy każdym powrocie nadaje mu zdolność łatwego przechodzenia przez najbliższą powierzchnię łamiącą i łatwego odbijania się pomiędzy dwoma powrotami łatwego przechodzenia. ⁵⁾

To wynika ze spostrzeżenia 5, 9, 12 i 15; gdyż jasnym jest na podstawie tych spostrzeżeń, ⁶⁾ że jeden i ten sam gatunek promieni, padając pod tym samym kątem na cienką blaszkę przezroczystą, kolejno wielokrotnie jest odbijany i przepuszczany w miarę, jak grubość blaszki wzrasta podług postępu arytmetycznego liczb 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 i t. d., i — w ten sposób mianowicie, że kiedy pierwsze odbicie (które daje pierwszy czyli najbardziej wewnętrzny z pomiędzy opisanych tam pierścieni barwnych) zachodzi przy grubości 1, to promienie są przepuszczane przy grubości 0, 2, 4, 6, 8, 10 i t. d., i dla tego wytwarzają ciemną plamę i pierścienie, pojawiające się w świetle przechodzącem; przy grubości zaś 1, 3, 5, 7, 9, 11 i t. d. są odbijane i wywołują pierścienie, powstające przy odbiciu. To kolejne odbijanie i przepuszczanie powtarza się, jak wnioskuję ze spostrzeżenia 24, więcej, niż w 100 kolejnych następstwach, i, podług spostrzeżeń, które będą dane w najbliższej części tej książki, — wiele tysięcy razy; zmiany te rozchodzą się od jednej powierzchni do drugiej nawet wówczas, gdy grubość płytki wynosi $\frac{1}{4}$ cala lub więcej; wydaje się tedy, że ta zmiana rozchodzi się bez końca i bez granic od każdej powierzchni łamiącej.

Księga trzecia „Optyki“ zawiera interesujące spostrzeżenia i pomiary, dotyczące dyfrakcji. Zajmuje się Newton tylko prążkami dyfrakcji zewnętrznymi; niewątpliwie wiedział i o prążkach wewnętrznych, np. prążku jasnym, pojawiającym się po samym środku cienia geometrycznego wąskich ekranów, jak włos, igła; były one opisane już przez Grimaldi'ego, na którego Newton powołuje się. Widocznem jest, że badacz nie nadawał prążkom tym znaczenia, które przypisała im później teoria falowa. Zresztą badania Newtona nad dyfrakcją mają charakter ułamkowy. Pisze on w zakończeniu księgi:

Kiedy zajmowałem się temi spostrzeżeniami, było moim zamiarem powtórzyć przeważną ich ilość z jeszcze większą starannością i dokładnością i wykonać jeszcze niektóre nowe spostrzeżenia, aby określić, jakim sposobem naginane są promienie świetlne przy przejściu około ciał, kiedy tworzą one barwne obwódki, poprzedzielane ciemnymi liniami. Lecz praca moja została wówczas przerwana, a teraz nie mogę myśleć o tem, aby te badania znów przedsięwziąć. Ponieważ zatem pozostawiłem tę część roboty mej niewykończoną, zakończę tem, że postawię tylko pewne pytania, aby inni dalej zbadali ten przedmiot.

Pytania, stanowiące dodatek do „Optyki“, są niezmiernie ważnym i interesującym dokumentem, rzucającym światło na postać duchową Newtona. Ukazuje się tu w całej pełni umysł głęboki, ogarniający całokształt wiedzy, interesujący się wszystkim, bystry obserwator i gruntowny znawca otaczającej natury. Wiele pytań zdumiewa: te same zagadnienia zostały wysunięte przez naukę na pierwszy plan dopiero w sto kilkadziesiąt lat po śmierci Newtona; inne problemy do dziś nie mniej są palące, niż za czasów Newtona. Nie przestaje Newton interesować tam nawet, gdzie przy obecnym stanie wiedzy z łatwością błąd wykazać możemy. Ciekawe są wreszcie „pytania“, jako wahać się w walce wewnętrznej, którą stoczył genialny uczony, wahać się w wyborze pomiędzy teorią falową a emisyjną. Przyczyną odrzucenia teorii falowej nie było błędne rozumowanie, lecz to, że dane doświadczalne, które miał Newton w swem ręku, łatwiej dawały się ująć w systemat emisyjny, niż w systemat falowy. Między innymi widzi Newton trudność pogodzenia teorii falowej z polaryzacją światła; trudność ta przetrwała do wieku XIX, usunął ją Fresnel swem przypuszczeniem dodatkowym o poprzeczności drgań w promieniu świetlnym; jednak z pomiędzy współczesnych Fresnelowi znakomitych uczonych wielu nie chciało się zgodzić na takie rozstrzygnięcie kwestyi, i nie dziw: uważając eter za ciało sprężyste, napotykały trudności nieprzewyciężone w tłumaczeniu mechanicznem fal poprzecznych. Do dziś sprzeczności usunięte nie zostały. Ostatecznie trudno nie przyznać, że kierowała Newtonem nie chęć wywyższenia teorii własnej i ambicya osobista, lecz — jedynie wielkie i szczerze umiłowanie prawdy.

Pytanie 1. Czy ciała nie działają na światło z pewnej odległości i czy przez to nie uginają jego promieni? i czy, przy jednakowych innych okolicznościach, to oddziaływanie nie jest najsilniejsze przy odległości najmniejszej?

Pytanie 2. Czy promienie różnej łamliwości nie posiadają też różnej zdolności uginania się, i czy przez swe różne uginanie nie są one od siebie tak oddzielane, że wywołują barwy powyżej opisanych obwódek? I w jaki sposób zostają one ugięte, aby wytworzyć te obwódki barwne?

Pytanie 5. Czy ciała i światło nie działają na siebie wzajemnie, t. j. czy nie działają ciała na światło, wysyłając je, odbijając, załamując i uginając, i światło — na ciała, ogrzewając je i wprawiając ich cząstki w ten ruch wibracyjny, na którym polega ciepło?

Pytanie 13. Czy różne rodzaje promieni nie wykonywują drgań różnej wielkości i nie wzbudzają przez to uczucia barw różnych, tak na przykład, jak drgania powietrzne, stosownie do wielkości swej, wzbudzają uczucie tonów różnych? I czy w szczególności najbardziej łamliwe promienie nie wzbudzają drgań najkrótszych i nie wywołują przez to wrażenia barwy ciemnofioletkowej, i najmniej łamliwe — drgań największych, aby dać wrażenie głębokiej czerwieni, i różne promienie pośrednie czy nie wzbudzają drgań wielkości średniej, aby wywołać uczucie różnych barw pośrednich. ⁸⁾

Pytanie 17. Kiedy się rzuca kamień w spokojną wodę, to w miejscu, gdzie on upada do wody, podnoszą się przez pewien czas fale i rozchodzą się stamtąd na powierzchni wody kołami spółśrodkowemi aż na dalekie odległości. Ruchy drgające, wzbudzone przez wstrząśnienie w powietrzu, rozchodzą się od środka, w którym zostały wzbudzone, kołami spółśrodkowemi na dalekie odległości przez czas pewien. I kiedy promień świetlny pada na powierzchnię ciała przezroczystego i tam zostaje odbity lub załamany, to czy w punkcie padania nie zostają wzbudzone tym samym sposobem fale wibracji lub wstrząśnień w środowisku łamią-

cem lub odbijającym, które to fale wciąż się podnoszą i stąd się rozchodzą, dopóki trwają...

Pytanie 18. Jeżeli zawiesimy dwa małe termometry w dwu odwróconych szerokich i długich cylindrach szklanych tak, że nie dotykają one naczyń, i z jednego z tych naczyń wypompujemy powietrze — i jeżeli potem tak przygotowane naczynia przeniesiemy z miejsca zimnego w ciepłe, to termometr zawieszony w próżni ogrzewa się do tegoż stopnia i również prędko, jak i termometr w naczyniu szklanym nieopróżnionem; a kiedy naczynia z powrotem zanieść w miejsce zimne, to termometr ten staje się prawie również prędko zimny, jak i drugi termometr. Czyż zatem gorąco pokoju ciepłego nie jest przekazywane przez próżnię za pośrednictwem drgań środowiska daleko subtelniejszego od powietrza, które to środowisko pozostało jeszcze w naczyniu po usunięciu powietrza? I czy to środowisko nie jest tem samym, przez które światło jest załamywane lub odbijane i wskutek drgań którego światło ogrzewa ciała?...

Pytanie 22. Czy planety, komety i wszystkie wielkie ciała nie mogą wykonywać swych ruchów w tem środowisku eterowem daleko swobodniej i napotykać mniejszy opór, niż w cieczy jakiegokolwiek, któraby wypełniała każdą przestrzeń równomiernie, nie pozostawiając por, a zatem byłaby daleko gęstsza, niż rtęć lub złoto? Czy ten opór nie może być tak mały, że nie wchodzi wcale w grę? Jeżeli np. przyjmiemy, że ten eter (ponieważ tak go będę nazywał) jest 700000 razy sprężystszy i przytem 700000 razy rzadszy od naszego powietrza, to jego opór byłby 600000000 razy mniejszy od oporu wody, i tak mały opór zaledwie w ciągu dziesięciu tysięcy lat wywołałby widoczną zmianę w ruchach planet. Gdyby kto miał zapytać, jak może być tak rzadkiem jakieś środowisko, ten niech mi odpowie, jak powietrze w najwyższych częściach atmosfery może być przeszło sto tysięcy razy rzadsze od złota, ten niech mi powie dalej, jak potarte ciało elektryczne może wydawać z siebie tak rzadkie i delikatne ekshalacye, że przez ich wysyłanie nie zachodzi

żadna widoczna strata na wadze; a jednak ekshalacje te tak są silne, że rozchodzą się one w przestrzeni na odległość dwu stóp i w odległości jednej stopy od ciała elektrycznego są w stanie wprawić w ruch listki miedzi i złota i podnosić je. I jak mogą być tak rzadkie i subtelne wypływy (effluvia) magnetyczne, iż bez oporu i bez straty na sile przenikają przez płytkę szklaną i jednak są jeszcze w stanie wprawić w ruch poza szkłem igłę magnesową.

Pytanie 28. Czy nie są niesłuszne wszystkie hipotezy, podług których światło ma polegać na ciśnieniu lub ruchu, które się rozchodzą w pewnym fluidzie...?

Gdyby ono polegało na ciśnieniu lub ruchu, które się rozchodzą w czasie lub momentalnie, to musiałyby zaginać się wgłąb cienia; gdyż ciśnienie lub ruch nie mogą przechodzić w jakimś fluidzie po linii prostej koło przegrody, która zatrzymuje część tego ruchu, aby się nie ugiąć i nie szerzyć się za przegrodą. Siła ciężkości jest skierowana ku dołowi, lecz wynikające stąd ciśnienie wody jest skierowane z równą siłą na wszystkie strony i rozchodzi się również łatwo i z tą samą siłą w bok, jak i ku dołowi, po drogach prostych, jak i po drogach zakrzywionych. Kiedy fale wzbudzone na powierzchni spokojnej wody przechodzą koło brzegów szerokiej przegrody, zaginają się one za przegrodę i szerzą się w spokojnej wodzie za nią. Również i fale, uderzenia i drgania powietrza, które tworzą dźwięk, doznają oczywiście uginania, choć nie tak silnego, jak fale wody. Gdyż dzwon lub działo słychać za pagórką, który nie pozwala dostrzedz ciała dźwięczącego, i tony rozchodzą się równie łatwo w piszczałkach zakrzywionych, jak i w prostych. Ale, co się tyczy światła, nie spostrzegamy nigdy, aby się ono poruszało po drogach krzywych lub też zaginało wewnątrz cienia. Gwiazdy stałe znikają za planetami,—również te miejsca kręgu słonecznego, przed którymi przechodzą Księżyc, Merkury lub Wenus. Prawda, że promienie świetlne, przechodzące tuż koło krawędzi ciała, zostają, jakeśmy widzieli, nieco ugięte wskutek oddziaływania ciała, lecz to uginanie

nie zachodzi w głąb cienia, lecz nazewnątrz i tylko wtedy, kiedy promienie świetlne przechodzą w jak największej bliskości ciała; kiedy tylko promień minie ciało, biegnie on dalej po linii prostej. ⁸⁾

Niemniejszą trudność napotyka Newton w tłumaczeniu na podstawie teorii falowej zjawisk podwójnego załamania, a przede wszystkim w tłumaczeniu doświadczenia Huygens'a z dwoma kryształami (ob. str. 247 niniejszej książki). Powraca wtedy znów do kwestyi oporu środowiska ciekłego, która to kwestya teraz, wbrew temu, co było powiedziane wyżej (ob. st. 273 i 274), wydaje mu się niemożliwą do rozstrzygnięcia na korzyść przypuszczenia o eterze wszechświatowym. Sądzi wreszcie Newton, że i z ogólno-filozoficznego punktu widzenia hipoteza eteru powinna być odrzucona.

... Jest zadaniem głównem filozofii natury wyciągać wnioski ze zjawisk bez hipotez, a przyczyny wyprowadzać z oddziaływania zjawisk, dopóki nie osiągniemy pierwszej prawdziwej przyczyny, która z pewnością nie jest mechaniczna; i nie jest zadaniem filozofii rozwikływać mechanizm świata, lecz przede wszystkim — rozstrzygnąć pytania w rodzaju następujących:

Co napełnia przestrzenie niemal wolne od materji, i skąd pochodzi, że słońce i planety przyciągają się wzajemnie, chociaż niema pomiędzy nimi materji gęstej? Skąd pochodzi, że natura nic nie czyni napróżno i skąd pochodzi cały porządek i piękno świata? W jakim celu istnieją komety i skąd pochodzi, że się wszystkie planety poruszają po kołach spółśrodkowych w jednym i tym samym kierunku, podczas gdy komety w przeróżny sposób biegną po drogach nader ekscentrycznych? i co stoi na przeszkodzie gwiazdom stałym, iż nie poupadają na siebie wzajemnie? Jakim sposobem ciała ludzi i zwierząt zostały tak kunsztownie pomyślane i do jakiego celu służą ich części poszczególne? Czy oko zostało sporządzone bez biegłości w optyce, a ucho bez znajomości nauki o głosie? Jak się dzieje, że ruchy

ciała są posłuszne woli i skąd pochodzi instynkt zwierząt? Czy siedlisko czucia w zwierzęciu nie znajduje się tam, gdzie się znajduje substancja czucia i dokąd doprowadzane są za pośrednictwem nerwów i mózgu dostrzegalne obrazy świata zewnętrznego, aby tam dojść do świadomości naszej dzięki swej bezpośredniej obecności w obrębie tej substancji?

I ponieważ wszystko to jest tak dobrze urządzone, to czy nie jest jasnym ze zjawisk natury, że musi istnieć niecielesna, żywa, inteligentna i wszechobecna istota, która w przestrzeni nieskończonej, świadomością swą przenika wszystkie rzeczy aż do ich najbardziej ukrytych tajemników i rozumie je całkowicie w swej bezpośredniej obecności. A o rzeczach tych do naszej ograniczonej świadomości dochodzą za pośrednictwem zmysłów tylko obrazy, które podlegają oglądowi i roztrząsaniu ze strony tego, co w nas czuje i myśli. I chociaż każdy prawdziwy krok, uczyniony w tej nauce, nie prowadzi nas bezpośrednio do poznania pierwszej przyczyny, to jednak zbliża nas ku temu poznaniu i dla tego powinien być wysoko ceniony. ⁹⁾

Od tych wielkich zagadnień powraca badacz do kwestyi natury zjawisk świetlnych, wysuwając na pierwszy plan hipotezę ciałek świetlnych.

Pytanie 29. Czy promienie świetlne nie składają się z bardzo małych ciał, które są wysyłane przez ciała świecące? Gdyż ciała takie poruszałyby się w jednorodnym ośrodku po liniach prostych, nie zaginając się wewnątrz cienia, co właśnie leży w naturze światła. Mogą one też posiadać różne własności i zachowywać właściwości te niezmiennymi przy przejściu przez wiele ośrodków, co również zachodzi w przypadku promieni świetlnych. Ciała przezroczyste działają z odległości na promienie świetlne, załamując je, odbijając i uginając; i promienie odwrotnie działają na cząstki tych ciał z pewnej odległości, ogrzewając je...

Oddziaływanie materii ważkiej na ciała świetlne wydaje się Newton'owi tem bardziej prawdopodobnem, że siły przyciągania spotykamy i w wielu innych zjawiskach: w elektryczności, magnetyzmie, ciężeniu powszechnem.

To, co nazywam przyciąganiem, może przychodzić do skutku zapomocą impulsów lub na innej mnie nieznaney drodze. Używam tego słowa tylko na to, aby wogóle oznaczyć siłę, wskutek której ciała dążą do siebie wzajemnie, jakkolwiek może być jej przyczyna. Wpierw musimy poznać ze zjawisk natury, jakie ciała przyciągają się wzajemnie i jakie są prawa i osobliwości tego przyciągania, zanim zapytamy o przyczyny, które sprawiają to przyciąganie. Przyciągania siły ciężkości, magnetyzmu i elektryczności sięgają na znaczne odległości i wskutek tego były obserwowane przez świat cały, lecz mogą tu istnieć inne, które sięgają tylko na tak małe odległości, że uchodziły dotychczas dostrzeganiu; być może, iż przyciąganie elektryczne, nawet kiedy nie jest wywołane przez tarcie, sięga na takie małe odległości.

Przyciąganiu wzajemnemu przypisuje Newton reakcye chemiczne; była to myśl zupełnie oryginalna, którą autor rozwija szczegółowo, na setkach przykładów, wykazując, że dziedzina chemii była mu doskonale znana ze strony praktycznej. W dalszych pytaniach wyjaśnione są zapomocą przyciągania zjawiska włoskowatości i spójności.

W zakończeniu rozpatruje Newton doniosłość zasad ogólnych dla filozofii natury. Od tego tematu zbacza jednak często w dziedzinę metafizyki i idei religijnych, rozwijając spekulacye na temat budowy ciał i wpływu postępów nauk przyrodniczych na rozwój filozofii moralnej.

U W A G I.

¹⁾ (Str. 257). Widać z tego ustępu, że Newton stałe posługiwał się ustawieniem pryzmatów w pozycji najmniejszego odchylenia promieni. Mamy tu próbkę jego wielkiej spostrzegawczości: w pozycji tej obrazy są najwyraźniejsze.

²⁾ (Str. 257). Średnicą pozorną słońca nazywamy kąt, który tworzą promienie, idące od punktów krańcowych jego średnicy. Obliczenie Newton'a można zrozumieć na podstawie dołączonej tu figury. Zważywszy, że kąt φ (średnica pozorna słońca) jest bardzo mały, będziemy mogli uważać $b'c'$ za odpowiedni łuk, skąd

$$\varphi = \frac{b'c'}{bc}$$

Widocznem jest, że $b'c'$ równa się długości obrazu, zmniejszonej o średnicę otworu ab . Podstawiając w ten wzór wartości liczbowe, podane w tekście, i biorąc pod uwagę, że stopa angielska = 30,5 cm. a cal = 2,54 cm., otrzymamy, $\varphi = 29'$ (około), co, ze

względem na przybliżony charakter pomiaru, zgadza się dobrze z rzeczywistością.

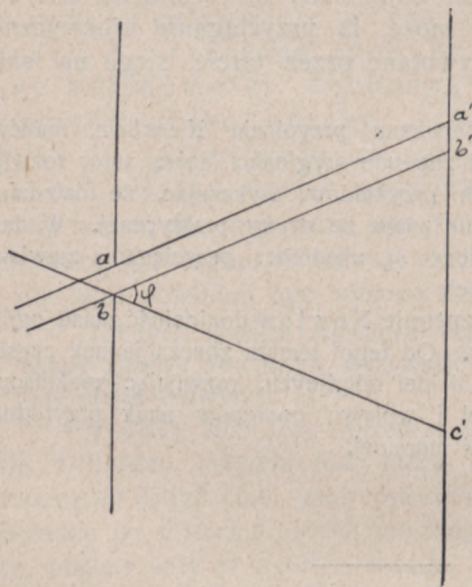


Fig. 46.

3) (Str. 267). Następuje dalej opis doświadczeń z proszkami. Opuszczamy go dla braku miejsca. Rzuci się tam w oczy jeden szczegół: zadziwiająca u człowieka tak oddanego myśleniu abstrakcyjnemu umiejętność obserwowania i wyczuwania rzeczywistości. Nie mówi Newton ogólnikowo: proszek złocisty, czerwony, zielony, lecz nazywa wszystkie po imieniu: aury pigment, minia, grynszpan; znać eksperymentatora, nie gardzącego żadnym szczegółem. Nie mniej uderza połot wyobraźni w opisach: zamiast mówić o tem, że światło białe, otrzymane syntetycznie zapomocą proszków, jest szare, pisze on (ob. str. 267), iż ono jest „barwy paznogci ludzkich lub myszy, popiołu, kamieni zwykłych, gliny, pyłu, błota na drogach...”

4) (Str. 269). Łatwo wykazać geometrycznie, że odstęp pomiędzy szkłem płaskim a wypukłem są proporcjonalne do kwadratu odległości od punktu zetknięcia. Widzimy na fig. 47, że odstęp $CD = AM$. Z własności prostopadłej poprowadzonej z wierzchołka kąta prostego wiadomo, że

$$AM \cdot BM = MD^2 \quad (1)$$

Z rysunku wynika, że

$$MB = AB - AM.$$

Wprowadźmy dalej następujące oznaczenia, które podstawimy w równanie 1. AB , średnica powierzchni sferycznej soczewki wypukłej = $2R$; AC , odległość danego miejsca (w zagadnieniu interferencji — promień pierścienia) od punktu zetknięcia soczewek = r ; $AM = CD$, grubość warstewki powietrza = x . Po podstawieniu, znajdziemy

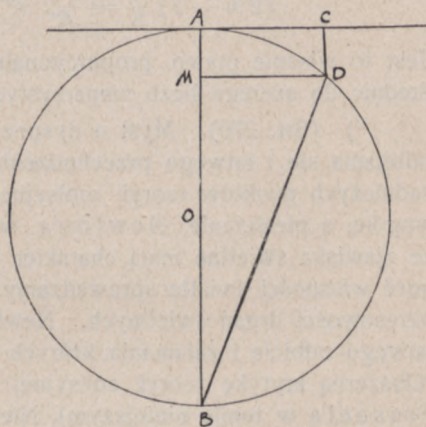


Fig. 47.

$$x(2R - x) = r^2; \quad x = \frac{r^2}{2R - x}$$

Ponieważ bierze się soczewkę wypukłą o promieniu kilkumetrowym, więc x , odstęp pomiędzy soczewkami, który się wyraża co najwyżej w dziesiątych lub setnych milimetra, może być pominięty

w mianowniku w porównaniu z $2R$. Tak więc ostatnie równanie można napisać

$$x = \frac{r^2}{2R}.$$

Dla promieni prawie prostopadłych różnica dróg wynosi

$$2x = \frac{r^2}{R}.$$

Jasność mamy tam, gdzie ta różnica dróg wynosi nieparzystą liczbę połówek fal: $(2n + 1) \frac{\lambda}{2}$, przyczem $n = 0, 1, 2, \dots$, a λ oznacza długość fali. Należy bowiem uwzględnić jeszcze stratę połówki fali przy odbiciu, czego dowodzi ciemna plama po środku, o której mowa w tekście Newton'a (ob. Witkowski, „Zasady“ t. II, str. 404). Biorąc pod uwagę tę okoliczność, znajdziemy, że

$$(2n + 1) \frac{\lambda}{2} = \frac{r^2}{R}; \quad r^2 = (2n + 1) \frac{\lambda R}{2}.$$

Jest to właśnie prawo proporcjonalności kwadratów promieni lub średnic do szeregu liczb nieparzystych.

⁵⁾ (Str. 270). Myśl o dyspozycjach lub przystępach łatwego odbijania się i łatwego przechodzenia światła stanowiła jeden z zasadniczych punktów teorii emisyjnej. Barwy cienkich warstewek wogóle, a pierścienie Newton'a w szczególności wskazują nam, że zjawiska świetlne mają charakter peryodyczny. Tę peryodyczność własności światła sprowadzamy obecnie w teorii falowej do okresowości drgań świetlnych. Newton tłómaczył ją przystępami łatwego odbicia i załamania, których miały doznawać ciała świetlne. (Obszerną krytykę teorii emisyjnej znajdzie czytelnik w pracach Fresnel'a w tomie niniejszym). Nie przypisywał zresztą Newton zbytnej wagi do hipotezy ciałek, chodziło mu głównie o stwierdzenie peryodycznego charakteru zjawiska. Powstawanie prążków ciemnych tłómaczył Newton tem, że w danym miejscu promień, będący w przystępie łatwego przechodzenia, przenikał powierzchnię szkła; prążki jasne miały powstawać w miejscach łatwego odbijania się światła.

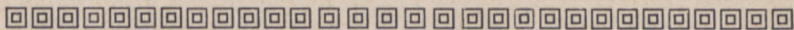
⁶⁾ (Str. 270). Te spostrzeżenia dotyczą pierścieni Newton'owskich.

⁷⁾ (Str. 270). Franciszek Marya Grimaldi (1613—1665), jezuita, wybitny matematyk, fizyk i astronom, odkrył uginanie się

światła; odkrycie swe podał do wiadomości w dziele: „*Physico-mathesis de lumine, coloribus et iride, aliisque annexis libri II*“.

⁸⁾ (Str. 275). Newton, który cytuje Grimaldi'ego, nie mógł oczywiście nie wiedzieć o prążkach dyfrakcyi wewnętrznych, przez autora tego opisanych. W trzeciej księdze „*Optyki*“, która zresztą nie została całkowicie wykończona, opisując doświadczenia dotyczące uginania się światła, nie wspomina Newton o nich ani słowem. Nie była to oczywiście zła wola; należałoby raczej przypuszczać, że Newton prążkom tym nadawał zgoła inne znaczenie, niż to my obecnie czynimy. Wogóle powstawanie prążków dyfrakcyjnych tłumaczył Newton przyciąganiem, wywieraniem na ciała świetlne przez brzeg ekranu.

⁹⁾ (Str. 276). Newton wogóle skłonny był do dociekań metafizycznych i religijnych.



TOMASZ YOUNG.

(1773 — 1829).

Tomasz Young był najmłodszym z pomiędzy dziesięciorga dzieci. Odznaczał się niezwykle przedwczesnym rozwojem umysłowym. Niepohamowana żądza wiedzy pchała go do usilnych studyów w różnorodnych kierunkach. Zajmował się matematyką, fizyką, naukami biologicznymi, medycyną, językoznawstwem, archeologią i filozofią. Miał kiedyś Young powiedzieć, że każdy człowiek może zrobić to, co przed nim już zrobił ktoś inny. Ten pogląd stwierdzał własnym przykładem. Oprócz swej działalności naukowej i praktyki lekarskiej zajmował się też Young muzyką, atletyką, jazdą konną i utrzymywał nader rozległe stosunki towarzyskie; grał na wszystkich instrumentach znanych, a woltyżerów zadziwiał sztukami w konnej jeździe.

Medycynę studyował Young kolejno w Londynie, Edynburgu, Getyndze i w Cambridge, gdzie uzyskał też stopień doktora. W roku 1801 został mianowany profesorem fizyki w Royal Institution; wynikiem opracowywania wykładów było dzieło „Course of lectures on Natural Philosophy“. (Wykłady fizyki, 1807). Był też sekretarzem Królewskiego Towarzystwa Nauk i sekretarzem Biura Miar.

Główną zasługę Young'a stanowi wskrzeszenie teorii falowej światła i wykrycie interferencji, które to słowo przez niego właśnie zostało wprowadzone. Doświadczenia Young'a nie zwróciły na siebie należytej uwagi, natomiast teoria jego wywołała żywy protest ze strony zwolenników idei Newton'owskich. Jeden z przeciwników Young'a (być może lord Brougham, powodowany względami natury osobistej) ogłosił w poważnym i poczyt-

nem Edinburgh Review artykuł, w którym wykazywał nicość umysłu i pracy naukowej Young'a, i przypominał Towarzystwu Królewskiemu obowiązek szanowania wielkiej pamięci Newton'a. Artykuł był zjadliwy i bardzo dowcipnie napisany. Dość nieokreślone wyobrażenia Young'a o charakterze ruchu falowego, wytwarzającego zjawiska świetlne, dały pochop do złośliwych uwag o „drgającym i falującym sposobie rozumowania“. Young próbował się bronić, lecz broszura, którą wydał w tej kwestyi, znalazła tylko jednego nabywcę. Rozgoryczony porzuca wówczas na dłuższy czas swe badania w dziedzinie optyki. Dopiero po kilkunastu latach ruch naukowy, idący z Francyi, daje Young'owi uznanie i w jego własnej ojczyźnie. Na czele tego ruchu stali Fresnel i Arago. (ob. następne rozdziały niniejszej książki).

W ciągu ostatnich lat życia Young z żywym zajęciem śledził dalszy rozwój teorii falowej. Umarł w r. 1829.

O teorii światła i barw. Przez Tomasza Young'a, M. D. F. R. S.,
profesora fizyki w Royal Institution. *)

Odczytany 12 listopada r. 1801.

Chociaż odnajdywanie prawdopodobnych hipotez, niezależnych od jakiegokolwiek związku ze spostrzeżeniami eksperymentalnymi, może być bardzo mało pożyteczne w postępie nauk przyrodniczych, to jednak musimy się zgodzić w każdym razie, iż odkrycie prostych i jednostajnych zasad, zapomocą których wielka liczba pozornie różnorodnych zjawisk sprowadza się do praw powszechnych, ze sobą powiązanych, ma doniosłość ogromną w procesie doskonalenia się umysłowości ludzkiej.

Przedmiotem rozprawy niniejszej jest nie tyle wypowiedzenie jakichkolwiek poglądów, któreby były bezwzględnie nowe, ile powiązanie pewnych teoryj, które już zostały rozwinięte, z imionami ich rzeczywistych odkrywców, — poparcie tych teoryj dodatkowymi dowodami i zastosowanie ich do wielkiej liczby faktów rozmaitych, które dotychczas były odkryte mrokiem. W tym względzie nie jest bezwarunkowo

*) The Bakerian lecture. On the theory of light and colours. By Thomas Young, M. D. F. R. S. Professor of Natural Philosophy in the Royal Institution. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 1802, cz. I, str. 12.

koniecznym wykonanie choć jednego nowego eksperymentu; albowiem istnieje już obszerny zapas eksperymentów, które tembardziej nie mogą być wykluczone z pod rozpatrzenia, że musiały być wykonane bez najmniejszego zwracania uwagi na systemat, zapomocą którego mają być wytłómaczone; będą tu jednak przedstawione i pewne fakty, dotąd nieobserwowane, w celu okazania doskonałej zgodności systematu tego z różnorodnymi zjawiskami natury.

Niema jeszcze obserwacyi, któreby mogły rywalizować z optycznymi spostrzeżeniami Newton'a, i, za wyjątkiem pewnych niedokładności przypadkowych, podnoszą się one tylko w naszym mniemaniu, kiedy je porównujemy z późniejszymi próbami ich udoskonalenia. Dalsze rozważanie barw cienkich płytek, jakie są opisane w drugiej księdze Optyki Newton'a, zamieniło moją skłonność do przyjęcia teorii fałowej światła, w silne przekonanie o jej prawdziwości i dostateczności. Zjawiska w cienkich płytkach są w rzeczy samej tak osobliwe, że ich charakter skomplikowany z trudnością daje się pogodzić z jakimikolwiek teoryami, chociażby najbardziej zawiłymi, które były dotychczas do nich stosowane; niektóre z głównych cech zjawiska nigdy nie były wyjaśnione zapomocą najbardziej dowolnych założeń; okaże się jednak, że najmniejsze szczegóły tych zjawisk nie tylko doskonale zgadzają się z teorią, którą tu wyłożę, lecz—są wszystkie koniecznymi konsekwencyami tej teorii. Może to być osiągnięte bez żadnych przypuszczeń pomocniczych i — zapomocą wywodów tak prostych, iż zjawiska te stają się poszczególnymi wnioskami teorii, które zaledwie wymagają osobnego wyliczania.

Obszerniejsze rozpatrzenie różnych pism Newton'a pokazało mi, że był on w rzeczywistości pierwszym, który nasywał myśl o takiej teorii, jaką będę się starał podtrzymać, że jego własne poglądy mniej się różniły od tej teorii, niż się teraz powszechnie przypuszcza, że wysunięto różnorodne argumenty, aby zbić rzekomo zdanie jego, one zaś niemal w podobnej formie mogą być znalezione w jego własnych dziełach; było to czynione przez matematyka tej

miary, co Leonard Euler, którego systemat światła, o ile warto o nim wspominać, był lub mógł być zapożyczony całkowicie od Newton'a, Hooke'a, Huygens'a i Malebranche'a. ¹⁾

Rozwija dalej Young szereg hipotez i twierzeń, powołując się wciąż na ustępy Newton'a. Przechodzimy od razu do rozdziału, traktującego o barwach interferencyjnych.

O barwach cienkich warstewek.

.....

Niech ośrodek pomiędzy dwiema powierzchniami będzie rzadszy, niż ośrodek otaczający; wówczas impuls, odbity od drugiej powierzchni, napotykając na powierzchni pierwszej falowanie, postępujące w ślad za pierwszym, nada cząsteczkom środowiska rzadszego zdolność zupełnego zatrzymania ruchu środowiska gęstszego; przez zniszczenie światła odbitego promienie te będą silniej wprawiane w ruch, niż gdyby były w spoczynku: światło przechodzące będzie wzmocnione. Tak więc, kiedy podwójna grubość lub odstępy opóźnienia będą jakimikolwiek wielokrotnymi całkowitych szerokości falowań, to barwy, powstające wskutek odbicia, będą znoszone, a barwy światła przechodzącego będą żywsze. Przy grubościach pośrednich skutki będą odwrotne; zgadza to się z obserwacjami Newton'a. ²⁾

.....

Z pomiarów Newton'a, dotyczących grubości warstewek, które odbijają różne barwy, można nader dokładnie określić szerokość i czas trwania odnośnych falowań barw różnych; ³⁾ choć nie jest nieprawdopodobnem, że, kiedy się szkła bardzo zbliżają do siebie, to atmosfera eteru może wywołać pewną małą nieregularność. Całe widmo widzialne wydaje się zawartem w obrębie stosunku trzech do pięciu lub — seksty większej w muzyce; a drgania czerwonej, żółtej i błękitnej barwy mają się do siebie pod względem wielkości, jak liczby 8, 7 i 6; tak, — iż interwał pomiędzy

czerwienią a błękitem jest kwartą. Bezwzględna częstość wyraża się liczbami zbyt wielkimi, aby je można było jasno sobie przedstawić, lecz można to sobie lepiej wyobrazić przez porównanie z głosem. Gdyby struna, która wydaje tenorowe \bar{c} , mogła być czterdziestokrotnie dzielona, — za każdym razem na połowę, i gdyby miała wówczas drgać, dawałaby światło zielonkavo-żółte; gdybyśmy je oznaczyli przez c , skrajna ⁴¹czerwień wyrażałaby się przez a , a błękit — przez d . ⁴⁰Bezwzględna długość i częstość każdego drgania jest wyrażona w tablicy; przypuszczamy, że światło przebiega 500000000000 stóp w ciągu $8\frac{1}{6}$ minuty. ³⁾

Barwy	Długość fali w powietrzu w częściach cala	Liczba fal w calu	Liczba falowań na sekundę
Skrajna	.0000266	37640	463 milionów milionów
Czerwień	.0000256	39180	482
Pośrednia	.0000246	40720	501
Pomarańczowa	.0000240	41610	512
Pośrednia	.0000235	42510	523
Żółta	.0000227	44000	542
Pośrednia	.0000219	45600	561 (= prawie 2 ¹⁰)
Zielona	.0000211	47460	584
Pośrednia	.0000203	49320	607
Błękitna	.0000196	51110	629
Pośrednia	.0000189	52910	652
Indygo	.0000185	54070	665
Pośrednia	.0000181	55240	680
Fiołkowa	.0000174	57490	707
Skrajna	.0000167	59750	735

Przypisek. Co się tyczy wszystkich tych zjawisk, nie zadowolilem się dopóty, dopóki nie znalazłem w Mikrografii Hooke'a ⁴⁾ ustępu, który mógł być doprowadzić mnie wcześniej do podobnego wniosku. „Jest rzeczą najwidoczniejszą, że odbicie od dolnej lub dalszej strony ciała jest główną przyczyną wytwarzania tych barw. Niech promień pada ukośnie na cienką płytkę, część jego jest wówczas odbita napowrót przez pierwszą powierzchnię, a część — załamana w kierunku powierzchni drugiej, gdzie powtórnie doznaje odbicia i załamania. Tak, że po dwu załamaniach i jednym odbiciu biegnie tam rodzaj promienia słabszego, — zaś wskutek czasu, straconego przy przejściu tam i napowrót, ta słabsza pulsacya pozostaje w tyle za pulsacyą wcześniej odbitą; dzięki temu (powierzchnie bowiem są tak bliskie siebie, że oko nie może odróżnić dwu do jednej) owa zmieszana pulsacya, której silniejsza część idzie na przędzie, a słabsza znajduje się w tyle, wywołuje na siatkówce wrażenie barwy żółtej. Kiedy te powierzchnie są dalej od siebie odsunięte, słabsza pulsacya może napotkać odbicie drugiej czyli najbliższej z kolei pulsacyi od powierzchni pierwszej, może jednak spóźnić się jeszcze i w stosunku do tej i napotkać trzecią, czwartą, piątą, szóstą, siódmą lub ósmą; tak, że jeżeli mamy cienkie ciało przezroczyste, które od najcieńszej warstewki, potrzebnej do wytworzenia barw, stopniowo przechodzi aż do największej grubości, barwy będą się powtarzały tylekroć, ilekroć słabsza pulsacya pozostaje w tyle za swą początkową lub pierwszą pulsacyą i napotyka „śladem idącą“ pulsacyę. Że zaś przy ich spotkaniu powstają kolory, wynika to z pierwszej hipotezy o barwach, którą postawiłem, jako też z doświadczeń, które, jak się przekonałem, w mnóstwie wypadków zdają się tego dowodzić.“ ⁵⁾ Było to wydrukowane około siedmiu lat wcześniej, zanim Newton wykonał którekolwiek z doświadczeń swych. Newton informuje nas, że Hooke później był skłonny przyjąć jego „wskazanie“ co do natury barw; a jednak nie zdaje się, żeby Hooke kiedykolwiek zastosował to ulepszenie do swego tłumaczenia tych zjawisk...

Doświadczenia i obliczenia, dotyczące optyki fizycznej.**Przez Tomasza Young'a, M. D. F. R. S. *)**

Odczytany 24 listopada 1803.

1. Dowód eksperymentalny ogólnego prawa interferencji światła.

Wykonywając pewne doświadczenia, dotyczące prążków barwnych, towarzyszących ceniom, znalazłem tak prosty i przekonujący dowód ogólnego prawa interferencji dwu części światła, które to prawo już poprzednio starałem się ustalić, że uważałem za stosowne dać w Towarzystwie Królewskim krótkie sprawozdanie z faktów, które mi się wydają tak decydującymi. Twierdzenie, na które obecnie chcę położyć nacisk, na tem poprostu polega, iż prążki barwne są wytwarzane przez interferencyę dwu części światła, a sądzę, że nawet najbardziej uprzedzeni nie zaprzeczą, że to oświadczenie jest potwierdzone przez eksperymenty, które właśnie przytoczę; mogą one być powtórzone z wielką łatwością, ilekroć świeci słońce, i to bez użycia jakichkolwiek innych przyrządów, niż te, które każdy ma pod ręką.

Doświadczenie 1. Zrobiłem mały otwór w okiennicy i zakryłem go kawałkiem grubego papieru, który prze-

*) The Bakerian lecture. Experiments and calculations relative to the physical optics. By Thomas Young, M. D. F. R. S. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 1804, cz. I, str. 1.

dziurawiłem cienką igłą. Dla większej dogodności w obserwowaniu umieściłem małe lustro za okiennicą w takim położeniu, aby odbijało światło słoneczne na ścianę przeciwną w kierunku poziomym i aby stożek światła rozbieżnego przebiegał ponad stołem, na którym znajdowały się rozmaite małe ekraniki powycinane z kart. W promieniu słonecznym umieściłem skrawek karty szerokości około $\frac{1}{30}$ cala i obserwowałem jego cień bądź na ścianie, bądź na innych kartach, trzymany w różnych odległościach. Obok prążków barwnych po każdej stronie cienia, sam cień był podzielony przez podobne prążki równoległe mniejszych rozmiarów, liczba ich była różna, stosownie do odległości, na której obserwowano cień; jednak środek cienia zawsze pozostawał białym. I te właśnie prążki stanowiły łączny wynik działania dwu części światła, przechodzących po każdej stronie skrawka karty; dostawały się one wgłąb cienia dzięki zagięciu lub raczej dzięki dyfrakcyi światła. Albowiem, kiedy umieszczono w kilku calach od karty mały ekran tak, aby się na jego brzegu zarysowywała granica cienia, to wszystkie prążki, które się przedtem obserwowało wewnątrz cienia na ścianie, zniknęły niezwłocznie, chociaż światłu zagiętemu na drugiej stronie dozwolano biec w dawnym kierunku i chociaż to światło musiałyby podlegać wszelkim modyfikacyom, któreby mogła wywołać bliskość drugiego brzegu skrawka karty. Kiedy ekran, ustawiony na drodze, był bardziej oddalony od wąskiej karty, to, aby usunąć linie równoległe, koniecznem było wstawić go dalej wgłąb cienia, albowiem światło, ugięte na brzegu przedmiotu, w drodze swej ku prążkom zaszło tu już było dalej wewnątrz cienia. I to, że jedna z dwu części, wzięta oddzielnie, nie była w stanie wytworzyć prążków, nie pochodziło z braku dostatecznego natężenia światła; albowiem, kiedy obydwie części przechodziły bez przeszkody, to linie pojawiały się nawet wówczas, kiedy natężenie było zredukowane do jednej dziesiątej lub jednej dwudziestej wartości pierwotnej.

.

Spostrzeżenia nad skutkami dyfrakcyi i interferencyi, być może, będą miały z czasem zastosowanie do celów praktycznych, ostrzegając nas w naszych wnioskach, dotyczących wyglądu małych ciał widzianych przez mikroskop. Cień włókna, umieszczonego w pęku promieni światła, przepuszczonych przez mały otwór, niezależnie od przezroczystości lub nieprzezroczystości włókna, zawsze jest cokolwiek mniej ciemny po środku swej szerokości, niż w częściach, które się znajdują na jednym i drugim brzegu. Podobne zjawisko może również do pewnego stopnia mieć miejsce w stosunku do obrazu na siatkówce i wzbudzić w nas wrażenie przezroczystości, która niema realnej egzystencji; kiedy zaś mała część światła rzeczywiście jest przepuszczona przez substancję, to może ona znowu być zniszczona wskutek swej interferencyi ze światłem ugiętem, co wytworzy pozorną nieprzezroczystość częściową, zamiast jednostajnej wółprzezroczystości. Tak centralna plama ciemna i plama jasna otoczona ciemniejszym krążkiem mogą być odpowiednio wytworzone w obrazach ciała wółprzezroczystego i nieprzezroczystego i mogą wzbudzić w nas ideę o komplikacyi struktury, która nie istnieje. ⁶⁾

U W A G I.

¹⁾ (Str. 286). Z podanych w książce niniejszej wyjątków z „Optyki“ Newton'a wynika w sposób oczywisty, że oceniał on należycie wartość teoryi falowej, skłaniał się zaś ku teoryi emisyjnej jedynie na skutek nieprzewyciężonych trudności, jakie nastęzczała wówczas teorya falowa w stosunku do zjawisk polaryzacyi i uginania się światła (ob. str. 272 i następne).

²⁾ (Str. 287). Długość fali λ nazywa Young szerokością falowań. Podług obecnie przyjętego poglądu promienie światła jednorodnego przy różnicy dróg, równej całkowitej liczbie fal, wzmacniają się wzajemnie. Zakładając, że się one w tym przypadku wzajemnie znoszą, nie popełnia Young błędu we wnioskach ostatecznych, gdyż pomija również zachodzącą przy odbiciu od środowiska gęstszego stratę połowy fali. (ob. Witkowskiego „Zasady“ t. I-szy str. 453; t. 2-gi, str. 405).

³⁾ (Str. 287). Zakładając, iż stopa angielska = 0,305 m., znajdziemy na prędkość światła około $311000 \frac{\text{km.}}{\text{sek.}}$. Długości fal, które znajdujemy w tabelce Younga, zgadzają się doskonale z ich wartościami rzeczywistymi. Biorąc cal angielski = 2,54 cm., znajdziemy na długość fali barwy zielonej np. 0,000536 mm., liczbę, odpowiadającą mniej więcej środkowi części widma zielonej; podobnie— i w innych przypadkach.

⁴⁾ (Str. 288). Robert Hooke (1635 — 1703) był wybitnym eksperymentatorem i niepospolitym wynalazcą. Różnostronny i żywy umysł jego nie umiał się skupić na pewnych zagadnieniach, czemu przypisać należy, że działalność Hooke'a mniej była owocna, niżli pozwalały się spodziewać jego genialne zdolności. Badania optyczne naprowadziły Hooke'a na myśl o falowej naturze światła, choć jego wyobrażenia w tym względzie były jeszcze zbyt nieokreślone.

Hooke był jednym z najczynniejszych członków Królewskiego Towarzystwa Nauk. Brał żywy udział we wszelkich dysputach i podawał na posiedzeniach Towarzystwa niezliczoną ilość projektów różnych badań, które nigdy nie miały być dokonane. Był Hooke charakteru popędliwego i swarliwego; prowadził nieustanne spory o pierwszeństwo odkryć i wynalazków; między innymi: z Huygens'em co do wynalezienia zegara wahadłowego i sprężyny do poruszania zegarków przenośnych; z Newton'em—o odkrycie prawa ciężenia powszechnego.

Sam Hooke był powierzchowności oryginalnej: wąty, krzywonogi, z twarzą pomarszczoną; długie loki spadały mu nieporządnie aż do ramion.

Wady i śmieszności Hooke'a nie powinny jednak rzucać cienia na jego prawdziwe zasługi. Prawdą jest bowiem, że już przed dociekaniem Newton'a wypowiedział on myśl o wzajemnem przyciąganiu ciał niebieskich w stosunku odwrotnym do kwadratu odległości, choć nie poparł tej idei obliczeniami; przed New-

Łon'em również wykonał doświadczenie z pierścieniami barwnymi; po Grimaldi'm, lecz niezależnie odeń, odkrył dyfrakcję światła. Dokonał też wielu pożytecznych wynalazków w dziedzinie mechaniki.

⁵⁾ (Str. 288). Być może, iż rysunek pomoże do zorientowania się w tekście Hooke'a. Promień, oznaczony na fig. 48 cyfrą 2, jest to właśnie promień osłabiony dwukrotnem załamaniem

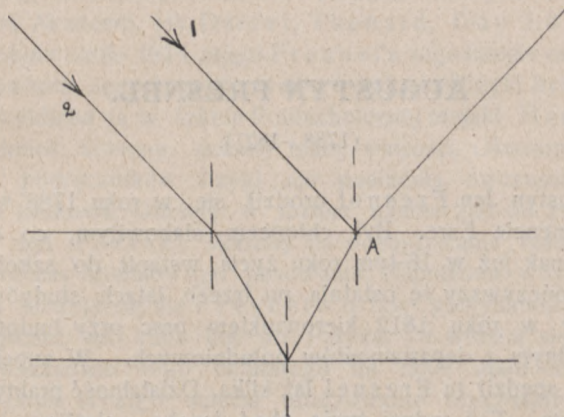


Fig. 48.

i jednym odbiciem. W *A* spotyka on falę („pulsacyję“), która biegła wzdłuż promienia oznaczonego cyfrą 1, i wyprzedzała go.

⁶⁾ (Str. 291). W nowszych czasach dopiero Abbe wykazał tak teoretycznie, jak i doświadczalnie, olbrzymią rolę, jaką grają zjawiska dyfrakcji przy rozpoznawaniu mikroskopowem drobnych przedmiotów.

AUGUSTYN FRESNEL.

(1788—1827).

Augustyn Jan Fresnel urodził się w roku 1788 w Broglie, w departamencie Eure. Był chłopcem słabowitym, co opóźniało naukę. Jednak już w 16-tym roku życia wstąpił do szkoły aplikacyjnej. Ukończywszy tę ostatnią po trzech latach studyów, został mianowany w roku 1812 kierownikiem prac przy budowie drogi bitej w jednym z departamentów południowych. W zupełnem odosobnieniu spędził tu Fresnel lat kilka. Działalność praktyczna nie pociągała go. „Ten rodzaj życia, choć trochę uciążliwy—pisze on kilka lat później do Arago *)—byłby dla mnie dość odpowiedni,

*) Dominik Franciszek Arago (1786 — 1853) był jednym z wybitnych fizyków pierwszej połowy w. XIX. Dla nauki główną wartość miały jego badania nad prądami indukcyjnymi i nad polaryzacją światła. Jako członek Akademii Nauk i współredaktor pisma: „Annales de Chimie et de Physique“ (pismo to redagował wraz z Gay Lussac'iem) miał Arago duże wpływy, z których korzystał, aby popierać młode, torujące sobie drogę talenty. Gorące serce, umysł zapalny, bezinteresowność i zupełny brak zawiści pociągały ku niemu młodych badaczy. Brał też Arago czynny i wybitny udział w przewrotach politycznych swych czasów. Interesujące są burzliwe dzieje pierwszych lat jego kariery naukowej. Około roku 1805 wysłany był wraz z Biot'em do Hiszpanii dla pomiarów południka ziemskiego. W powstaniu Hiszpanów przeciwko Napoleonowi był Arago dwukrotnie więziony i uwalniany. Za drugim razem okręt jego wskutek burzy zawinął do Algieru. Uczony francuski stał się niewolnikiem beja i musiał służyć za tłumacza na statkach korsarskich. Dopiero w roku 1809 Arago został uwolniony za staraniem konsula francuskiego.

gdybym się męczył tylko fizycznie i gdyby nie dręczył umysłu mego niepokój dozoru i konieczność karcenia i okazywania swego gniewu.“ Innym razem pisze Fresnel: „Znajduję, że niema nic równie trudnego, jak mieć ludzi pod swem kierownictwem, i przyznaję, że nie znam się na tem wcale“. Godziny wolne wypełniał sobie Fresnel z początku rozmyślaniami o charakterze filozoficzno-religijnym; potem zwrócił się ku hydraulice i chemii technicznej, nawiązując zarazem stosunki listowne z niektórymi członkami Akademii, jak Darcet, Thenard, Gay Lussac. Prawdopodobnie około 1814 zajął Fresnel'a zagadnienie materjalności ciepła i światła. Jego przygotowanie w zakresie fizyki było niedostateczne; wykładał ją w szkole Politechnicznej niejaki Hassenfratz, był członkiem komuny, uczony małej wartości. Obszernych i gruntownych podręczników fizyki nie posiadała ówczesna francuska literatura naukowa. Odcięty w małym miasteczku od źródeł oryginalnych, był Fresnel skazany na odnajdywanie rzeczy już znanych. Podczas studniowego panowania Napoleona w r. 1815 okoliczności łączyły się dla Fresnel'a o tyle pomyślnie, że mógł on być wyjechać na kilka dni do Paryża. Tu widział się z Arago. Rady i wskazówki tego ostatniego na razie mało się przydały Fresnel'owi; Arago zalecał studyowanie oryginalnych prac angielskich, które dla młodego badacza były niedostępne, chociażby ze względu na niezajomość tego języka. Jednak wyrazy zachęty ze strony tak wybitnego człowieka niewątpliwie stanowiły nowy bodziec dla przyszłego uczonego.

Z Paryża udaje się Fresnel na czas krótki do matki, która mieszkała na wsi Mathieu pod Caen. W tym zakątku w ciągu kilku tygodni powstają dwie pierwsze rozprawy o dyfrakcji, przesłane Akademii Paryskiej. Już te pierwsze prace uderzają ścisłością rozumowania i głębokością myśli; z niepospolitym talentem eksperymentatorskim łączy Fresnel dar dostrzegania najdrobniejszych szczegółów zjawisk. Zajmuje Fresnel'a kwestya cieniów. Rzecz nie była nowa; już Grimaldi w wieku XVI poczynił w tej dziedzinie pierwsze odkrycia; dostrzegł on, że światło, przechodząc koło ekranów, nie biegnie po linii prostej, podług wymagań optyki geometrycznej, lecz ugina się, wskutek czego na brzegach cieniów powstają prążki ciemne i jasne. Najbardziej uderzające były spostrzeżenia Grimaldi'ego co do prążków jasnych, które tworzą się wewnątrz cienia wązkich ekranów, jak włos, igła i t. p. Uginaniu się światła poświęcił był i Newton księgę III swej „Optyki“. Roz-

patrzył on tylko prążki dyfrakcyjne zewnętrzne, chociaż doświadczenia Grimaldi'ego były mu znane. A jednak Newton rozumiał dobrze doniosłą rolę, jaką miałyby dla teorii falowej zachodzenie światła wgłęb cienia geometrycznego (ob. str. 274 książki niniejszej). Brak w dziele Newton'a jakichkolwiek danych o prążkach jasnych w obrębie cieniów należy, zapewne, przypisać temu, że trzecia i zarazem ostatnia księga „Optyki“ dla braku czasu nie została przezeń wykończona całkowicie.

W każdym razie Fresnel pierwszy zajął się systematycznym i ścisłym badaniem prążków dyfrakcyi tak wewnętrznych, jak i zewnętrznych, i dowiódł, że jedynie teoria falowa światła prowadzi do zrozumienia tych zjawisk. Temu zagadnieniu poświęcił Fresnel początkowy okres swej działalności naukowej.

W dwu pierwszych rozprawach, napisanych na wsi, wykrywa Fresnel zasadę interferencyi, nie wiedząc bynajmniej o tem, że ta wcześniej już została wypowiedziana przez Young'a. Stosując tę zasadę do wielu zjawisk, np. do wyjaśnienia barw cienkich warstewek, dochodzi Fresnel do tych samych, co i Young wyników. Nową natomiast była metoda obserwacyi. Zamiast obserwować prążki na papierze, bada Fresnel ich rozmieszczenie za pomocą lupy, co powiększyło wielokrotnie dokładność pomiarów. Jego talent eksperymentatorski ukazuje się w całej pełni, gdy, nie mając żadnych narzędzi specjalnych, oprócz nitki i kawałka kartonu, mierzy odstępy pomiędzy prążkami z dokładnością do setnych części milimetra; podstawki do swych oryginalnych przyrządów sporządza Fresnel przy pomocy ślusarza wiejskiego.

Do oceny rozpraw Fresnel'a, złożonych Akademii, zostali powołani Poinsot i Arago. Ten ostatni nawiązuje korespondencję z młodym badaczem, wskazuje mu, że oryginalność jego rozpraw redukuje się do nowej metody obserwacyi i do wykrycia krzywoliniowego biegu promieni, tworzących prążki jasne; zachęca go zarazem do nowych doświadczeń. Za staraniem Arago udzielono Fresnel'owi urlopu kilkumiesięcznego dla powtórzenia doświadczeń w Paryżu. Jednak jeszcze w tym samym roku zajmuje Fresnel uciążliwe stanowisko naczelnika warsztatów w Rennes. Dopiero od roku 1818 zarząd dróg i mostów przenosi uczonego inżyniera na stanowisko, które mu pozwala stałe przebywać w Paryżu. W tym samym czasie ogłasza Akademia Paryska konkurs na rozprawę o uginaniu się światła. Fresnel staje do konkursu za namową Ampère'a i Arago. Jemu przyznano nagrodę. Rozprawa konkur-

sowa Fresnel'a składa się z dwu części. W części pierwszej ujmuje autor w jedną całość swe dotychczasowe badania nad ugięciem się światła; w części drugiej daje nową teorię zjawiska, opartą na zespoleniu zasady Huygens'a z zasadą interferencji. Rozwijając swą hipotezę, okazał autor, że był również przenikliwym matematykiem, jak doskonałym eksperymentatorem. Uwieńczenie dzieła stanowiły szeregi pomiarów, klasycznych pod względem ścisłości, wykazujących zdumiewającą zgodność pomiędzy danymi obliczenia i danymi obserwacji (ob. str. 311 książki niniejszej).

Sędziami konkursowymi byli: Laplace, Biot, Poisson, Arago i Gay Lussac; trzech pierwsi — zapaleni zwolennicy systemu Newton'owskiego, czwarty — stronnik teorii falowej; piąty, Gay Lussac, nie żywił uprzedzeń w żadnym kierunku, gdyż ze względu na charakter swej działalności naukowej mało był obznajmiony z kwestią poruszaną. Fresnel'owi przyznano nagrodę jedno-głośnie; jego talent przezwyciężył wszelkie uprzedzenia. Być może, iż wpłynęła na to i pewna okoliczność wyjątkowa, nadająca temu konkursowi charakter niezwykle dramatyczny. Poisson zauważył, iż z całek Fresnel'a wynika wniosek paradoksalny: przy przejściu światła przez mały otworek powinno się obserwować w pewnej odległości od ekranu ciemność, a za małym ekranem, w obrębie cienia geometrycznego, powinna panować zupełna jasność. Zaproponowano Fresnel'owi sprawdzenie tych wniosków, i eksperyment potwierdził w zupełności przewidywania teoretyczne. (ob. str. 316 tej książki).

Rozprawa konkursowa zamyka pierwszy okres działalności Fresnel'a. W okresie drugim przechodzi on do badań nad światłem spolaryzowanym. Szczupłe wiadomości o polaryzacji, jakie posiadali Huygens i Newton (ob. str. 245 i 275 tej książki), zostały rozszerzone na początku wieku XIX przez Malus'a. Arago przypadkowo dokonał obserwacji nad zjawiskami, które się spostrzeżają przy przechodzeniu światła spolaryzowanego przez płytki krystaliczne. Zająwszy się temi badaniami systematycznie, wykrył on niesłychane bogactwo faktów doświadczalnych. Odkrycia Arago zapewniły na czas krótki tryumf teorii emisyjnej; zwolennicy hipotezy falowej nie umieli pogodzić ze swemi zasadami tych nowych faktów. „Co się tyczy moich hipotez zasadniczych o naturze światła,“ pisze Young w jednym z listów, datowanych roku 1815, „to z dniem każdym mniej jestem skłonny zaprzętać niemi myśl moją w miarę, jak dochodzi do mej wiadomości większa liczba faktów

w rodzaju tych, które odkrył p. Malus; albowiem, choć te hipotezy nie są tego rodzaju, żeby się nie dały pogodzić z faktami, to jednak z pewnością nie pomagają nam wcale do wytlómaczenia tych faktów“.

Tymczasem Biot *) dawał dokładne wytłómaczenie zjawisk, zakładając, że ciała świetlne mają bieguny na podobieństwo magnesów. **) Prawda, że w miarę wykrywania nowych zjawisk należało przypisać cząsteczkom świetlnym mnóstwo innych własności od siebie niezależnych, a często nawet—ze sobą sprzecznych. Tak więc cząsteczki świetlne miały być wielościanami, miały wirować koło osi symetrii względem linii biegunów prostopadłej, te osi symetrii przy załamaniu podwójnem miały znów wpadać w ruch drgający i t. d. Wszystkie te hipotezy skomplikowane nie wiązały się zupełnie z całością zjawisk, obserwowanych w innych działach optyki. Ten stan rzeczy nie zadawał Fresnel'a, dążącego do znalezienia zasad prostych i powszechnych. Przystępując do badań nad światłem spolaryzowanym, szuka Fresnel przede wszystkim łącznika pomiędzy nową dziedziną, a dawniej już zbadanem zjawiskiem interferencji. Próbuje on znaleźć interferencję promienia zwyczajnego i nadzwyczajnego, powstających przy podwójnem załamaniu. Arago, gorliwy protektor Fresnel'a a zarazem jego szczerzy przyjaciel i powiernik myśli, dowiedziawszy się o niepowodzeniu, doradza mu wykonanie doświadczenia bardziej przejrzystego: światło spolaryzowane ma być użyte w klasycznym doświadczeniu Young'a ze szparkami. Doświadczenie takie, wykonane wspólnie przez obu przyjaciół, dało niezmiernie ważny wynik dla dalszego rozwoju teorii światła. Okazało się, że prążki interferencyjne po-

*) Jan Baptysta Biot (1774—1862) był jednym z najenergiczniejszych rzeczników teorii emisyjnej. Pozostawił wiele prac naukowych z dziedziny fizyki, astronomii i matematyki światła. Do najważniejszych należą jego badania nad załamaniem światła w gazach (dokonane wspólnie z Arago), nad skręceniem płaszczyzny polaryzacji i nad barwami płytek krystalicznych w świetle spolaryzowanym. Wspólnie z Savart'em odkrył znane prawo, dotyczące pola magnetycznego prądu. Był autorem słynnego w swoim czasie podręcznika fizyki: „*Traité de physique expérimentale et mathématique*“.

**) Nazwa światła spolaryzowanego powstała właśnie na gruncie hipotezy emisyjnej; polus—po łacinie biegun.

wstają sposobem zwykłym, o ile płaszczyzny polaryzacji obydwu promieni są względem siebie równoległe; przy ich skrzyżowaniu pod kątem prostym prążki interferencyjne znikają. (ob. str. 319 tej książki). Wynik staje się zrozumiałym, jeżeli przypuścić, że drgania świetlne są prostopadłe względem promienia. Nie mógł się Fresnel zrazu na taki wniosek zdecydować, ze względu na trudność sprowadzenia tych pojęć do zasad mechaniki. Jednak już o trzy lata później, w roku 1822, zajmując się badaniem barw płytek krystalicznych w świetle spolaryzowanym, wypowiada Fresnel zupełnie stanowczo zdanie swe o poprzecznym charakterze drgań świetlnych; widział się on poniekąd zmuszonym przez same fakty eksperymentalne do przyjęcia tego przypuszczenia. Rzecz interesująca, że Arago nie poszedł w tym kierunku za swym przyjacielem; do końca życia uważał hipotezę drgań poprzecznych za niedopuszczalną.

Na hipotezie drgań poprzecznych oparł Fresnel swe badania nad odbiciem światła spolaryzowanego od metali i od ciał przezroczystych, jak również—badania nad zjawiskami, które się obserwuje przy całkowitem odbiciu wewnętrznym. Ta strona jego działalności naukowej, jak również klasyczne badania nad załamaniem podwójnym w kryształach dwuosiowych, wychodzi poza ramy książki niniejszej. Z tych badań każde, wzięte z osobna, zapewnia autorowi w dziejach optyki imię wielkie, niezapomiane. Sprawy najzawilsze, chaos faktów umiał Fresnel sprowadzić do prostych praw ogólnych. Jego genialna intuicja zwyciężała na każdym polu.

Zdumiewająca była pracowitość i wytrwałość Fresnel'a. Jego spuścizna naukowa obejmuje trzy wielkie tomy, po kilkaset stron każdy. A jednak Fresnel nigdy nie mógł całkowicie poświęcać czasu swego nauce. Kosztowne doświadczenia wymagały znacznych środków materyalnych. Zdobywał je Fresnel zawodową pracą inżynierską; od czasu do czasu zmuszony był jeszcze szukać zarobków ubocznych. Tak pomiędzy rokiem 1821 — 1824 zajmował uciążliwe, źle płatne stanowisko cz a s o w e g o egzaminatora uczniów Szkoły Politechnicznej. W tym samym okresie czasu należał Fresnel też i do komisji, wyznaczonej dla udoskonalenia latarni morskich. Kilka pięknych wynalazków Fresnel'a wywołało przewrót zupełny w tej dziedzinie techniki i oddało wielkie usługi tak Francji, jak i ludzkości całej. Niewątpliwie jednak strata, którą poniosło społeczeństwo przez oderwanie genialnej jednostki od badań w dziedzinie nauki czystej, większa była od tej korzyści. Wykrycie praw ogólnych, odsłonięcie nowych tajników natury donioślejszem by-

łoby z pewnością od udoskonalenia soczewek projekcyjnych lub wprowadzenia knotów nowego systemu.

Około roku 1824 siły Fresnel'a zaczęły się wyczerpywać. Przejęty całkowicie poczuciem obowiązku, nie wahał się w wyborze pomiędzy sławą osobistą a zobowiązaniami względem społeczeństwa. Wszystkie chwile wolne od cierpień poświęcał Fresnel sprawie latarni morskich. Zażądał zastępcy dopiero na kilka miesięcy przed śmiercią. Umarł w lipcu 1827 r. w trzydziestym dziewiątym roku życia.

Rozprawa o dyfrakcyi światła,

uwieńczona przez Akademię Nauk. *)

Natura simplex et fecunda.

W S T Ę P.

1. Zanim zajmę się specjalnie licznymi i różnorodnymi zjawiskami, objętymi nazwą wspólną dyfrakcyi, powinienem, sądzę, przedstawić kilka rozważań ogólnych o dwu systematach, które dotąd w kwestyi natury światła dzieliły uczonych na dwa obozy. Newton uczynił przypuszczenie, że cząsteczki świetlne, wyrzucane przez ciała, które nas oświetlają, dochodzą wprost do oczu naszych, gdzie uderzeniem swem wywołują wrażenia wzrokowe. Descartes, Hooke, Huygens, Euler myśleli, że światło wynika z drgań fluidu powszechnego, niezmiernie subtelnego, wprawianego w ruch przez szybkie drgania cząsteczek ciała świecącego, podobnie, jak powietrze jest wstrząsane przez drgania ciał dźwięcznych, tak, — że w systemacie tym dochodzą do naszego organu wzroku nie te cząsteczki fluidu, które

*) Tłómaczono podług tekstu w „Oeuvres complètes d'Augustin Fresnel, publiées par MM. Henri de Senarmont, Émile Verdet et Léonor Fresnel”. Paryż, 1866, t. 1-szy, str. 247. Przy układaniu powyższej umieszczonej biografii korzystaliśmy z artykułu E. Verdet'a, stanowiącego wstęp do tego wydawnictwa.

są w zetknięciu z ciałem świecącym, lecz tylko ruch, który im był nadany.

Hypoteza pierwsza ma tę przewagę, że prowadzi do konsekwencji bardziej oczywistych, gdyż analiza mechaniczna daje się tu łatwiej zastosować; druga, przeciwnie, przedstawia pod tym względem wielkie trudności. Lecz w wyborze systematu należy mieć wzgląd tylko na prostotę hipotez; prostota rachunków nie może zaważyć na szali prawdopodobieństwa. Natura nie kłopotowała się o trudności analityczne; unikała ona tylko komplikacji środków. Zdaje się, że postawiła ona sobie za cel uczynić wiele środkami małymi; jest to zasada, popierana wciąż nowymi dowodami w miarę doskonalenia się nauk fizycznych. Zwłaszcza astronomia, chluba umysłu ludzkiego, daje uderzające tego potwierdzenia: wszystkie prawa *Keplera* zostały sprowadzone przez geniusz *Newtona* do jedyne go prawa grawitacji, które posłużyło potem do wytlómaczenia, a nawet do wykrycia najbardziej skomplikowanych i najmniej widocznych perturbacji w ruchach planet.

2. Jeżeli błędzono czasem, pragnąc uprościć elementy jakiejś nauki, pochodziło to stąd, że budowano systematy, zanim zebrano dostatecznie wielką liczbę faktów. Dana hipoteza, nader prosta, kiedy rozważamy jedną tylko klasę zjawisk, wymaga wielu innych hipotez, kiedy chcemy wyjść z ciasnego koła, w którym zamknęliśmy się z początku. Jeżeli natura postawiła sobie za cel osiągnąć *maximum* skutku zapomocą *minimum* przyczyn, to musiała ona rozwiązać to wielkie zagadnienie w całokształcie swych praw.

Niewątpliwie, jest rzeczą bardzo trudną odkryć podstawę tej zadziwiającej ekonomii, t. j. — najprostsze przyczyny zjawisk, rozpatrywanych z tak rozległego punktu widzenia. Lecz, jeżeli ta zasada ogólna filozofii nauk fizycznych nie prowadzi bezpośrednio do poznania prawdy, nie mniej może ona kierować wysiłkami umysłu ludzkiego, oddalając go od systematów, które sprowadzają zjawiska do zbyt wielkiej liczby przyczyn różnych, skłaniając natomiast do przyznania pierw-

szeństwa tym, które, opierając się na najmniejszej liczbie hipotez, są najbardziej płodne w następstwa.

3. Pod tym względem systemat, podług którego światło polega na drganiach fluidu powszechnego, ma dużą przewagę nad systematem emisyjnym. Pozwala on pojąć, jakim sposobem światło może podlegać tylu różnym modyfikacyom. Rozumiem przez to nie te modyfikacje, których ono doznaje momentalnie w ciałach, przez które przebiega; te modyfikacje można sprowadzić do natury tych środowisk; ja jednak chcę mówić o tych zmianach trwałych, które światło unosi ze sobą, a które nadają mu nowy charakter. Łatwo zrozumieć, że fluid, zbiorowisko nieskończonej liczby molekuł ruchliwych, podlegających wzajemnej zależności, zdolny jest do wielkiej liczby modyfikacji różnych dzięki ruchom względnym, które są nadawane cząsteczkom. Drgania powietrzne i rozmaitość wrażeń, które one wywołują w organie słuchu, stanowią uderzający tego przykład.

W systemacie emisyjnym — przeciwnie; ponieważ tam bieg każdej cząsteczki świetlnej jest niezależny od biegu innych cząsteczek, więc i liczba modyfikacji różnych, którym te cząsteczki mogą podlegać, wydaje się nader ograniczona. Do ruchu postępowego można dodać ruch obrotowy, oto i wszystko. Co się tyczy ruchów drgających, ich istnienie jest wyobrażalne tylko w środowiskach, któreby je podtrzymywały niejednakowem działaniem swych części na różne strony cząsteczek świecących; strony te musiałyby przypuszczalnie posiadać własności różne. Jak tylko ustaje to działanie, drgania też muszą ustać lub zamienić się na ruchy obrotowe. Tak więc ruch obrotowy i różnorodność ścian tej samej cząsteczki świecącej są jedynymi środkami mechanicznymi teorii emisyjnej w przedstawieniu wszelkich trwałych modyfikacji światła. Te środki wydadzą się nader niedostateczne, jeżeli zwrócić uwagę na mnogość zjawisk, których dostarcza optyka. Przekonamy się o tem lepiej, czytając Podręcznik fizyki doświadczalnej i matematycznej p. Biot'a, w którym są rozwinięte nader szczegółowo i jasno główne konsekwencye systematu Newton'a. Zobaczymy

tam, iż, aby zdać sprawę ze zjawisk, należy nagromadzić na każdej cząsteczce świecącej wielką liczbę modyfikacji różnych, które często trudno ze sobą pogodzić.

4. Podług systematu falowego nieskończona różnorodność promieni różnych barw, które składają światło białe, pochodzi poprostu z różnicy w długości fal świetlnych, podobnie, jak różnorodność tonów muzycznych pochodzi z różnicy w długości fal głosowych. W teorii Newtonowskiej nie można przypisywać tej różnorodności barw lub wrażeń wywołanych w organie wzroku różnicom w masie lub prędkości początkowej cząsteczek świetlnych, gdyż wynikałoby stąd, że rozszczepienie powinno być zawsze być proporcjonalne do załamania, doświadczenie zaś dowodzi rzeczy przeciwnej. Należy tedy koniecznie przypuścić, że cząsteczki promieni o barwie różnej nie są tej samej natury. I oto mamy tyleż cząsteczek świetlnych różnorodnych, ile jest w widmie słonecznem barw, odcieni różnych.

5. Wytłómaczywszy odbicie i załamanie działaniem sił odpychających i przyciągających, mających siedlisko swe na powierzchni ciała, Newton, aby pojąć zjawisko pierścieni barwnych, stworzył wyobrażenie o przystępach łatwego odbijania i łatwego przepuszczania, powracających peryodycznie w odstępach równych. Naturalnem było przypuszczenie, że te odstępki, jak i prędkość światła, są zawsze te same w tych samych środowiskach; a zatem,—że pod kątami padania bardziej ukośnymi, średnica pierścieni musi zmniejszać się, gdyż droga przebywana powiększa się. ²⁾ Doświadczenie uczy przeciwnie, iż średnica pierścieni powiększa się wraz z nachyleniem promieni padających, i Newton zmuszony był wywnioskować stąd, że przystępy powiększają przy tem długość swą i to w stosunku większym od dróg przebieganych. Powinien był on również oczekiwać, że znajdzie przystępy dłuższemi w środowiskach, które światło przebiega z większą prędkością i które podług niego są ciałami najgęstszymi, gdyż naturalnem było przypuścić, że okresy przystępów pozostają izochroniczne w różnych środowiskach. Doświadczenie dowiodło mu rzeczy przeciwnej:

znalazł on, naprzykład, że grubości warstewek powietrza i wody, które odbijają tę samą barwę w promieniach prostopadłych, ściśle tak się mają do siebie, jak wstawy kątów padania i załamania przy przejściu światła z powietrza do wody, co właśnie jest jednym z najbardziej uderzających potwierdzeń teorii falowej.

Tak więc systemat emisyjny tak mało czyni zadość tłómaczeniu zjawisk, że każde nowe zjawisko wymaga nowej hipotezy.

6. Jeżeli hipoteza przystępów jest już nieprawdopodobna wskutek swej skomplikowanej konstrukcyi, wydaje się ona jeszcze daleko bardziej nieprawdopodobną, kiedy idziemy śladem wniosków z niej płynących.

Tu wykazuje Fresnel trudności, które napotyka się w teorii przystępów, jeżeli, przyjąwszy ją, chceć zdać sprawę z częściowego odbicia światła od powierzchni ciał przezroczystych, a nawet, — kiedy ją stosować do zupełnego wyjaśnienia zjawiska pierścieni barwnych, gwoli którego została właśnie stworzona. W zakończeniu wstępu krytycznego czytamy:

10. Mnogość hipotez i ich skomplikowany charakter nie są jedynym brakiem systematu emisyjnego. Pokażę w dalszym ciągu Rozprawy tej, że, nawet przyjmując wszystkie te hipotezy, które wyliczyłem, nie doszlibyśmy do kompletnego wytłómaczenia zjawisk i że jedynie teoria falowa może zdać sprawę z tych wszystkich zjawisk, jakie okazuje uginanie się światła.

Dyfrakcja światła.

ROZDZIAŁ PIERWSZY.

Zdaje się, że w systemacie emisyjnym nie powinno być nic prostszego od teorii cieniów rzucanych przez ciała, zwłaszcza gdy przedmiot oświetlający sprowadza się do punktu świecącego, a jednak—niema nic bardziej skomplikowanego. Przypuszczając, że powierzchnia ciał posiada własność odpychania, zdolną do zmiany kierunku promieni świetlnych, które przecho-

dzą bardzo blisko niej, należy oczekiwać, że się będzie tylko widziało, jak się cienie rozchodzą i jak się ku swym brzegom cokolwiek zlewają z częścią oświetloną. Tymczasem cienie są okolone trzema prążkami barwnymi, bardzo wyraźnymi, kiedy się posługuwać światłem białym, i jeszcze daleko większą liczbą prążków ciemnych, błyszczących, gdy światło, którego się używa, jest niemal jednorodne. Nazwiemy te prążki zewnętrznymi i nadamy nazwę prążków wewnętrznych tym, które się spostrzega pośrodku cieniów wązkich.

Jeżeli przyjmiemy teorię Newtonowską, to pierwszą ideą, która się nasunie, będzie to, że prążki zewnętrzne są wytworzone przez siłę kolejno przyciągającą i odpychającą, która bierze swój początek na powierzchni ciała. Pójdę z początku śladem wniosków z tej hipotezy i pokażę, że nie można jej pogodzić z doświadczeniem; uprzednio jednak muszę zapoznać ze sposobem obserwacji, którego używałem.

12. Wiadomo, że działanie lupy, umieszczonej przed okiem, polega na tem, że ona wiernie rysuje na siatkówce przedmiot lub obraz, który się znajduje w jej ognisku; przynajmniej—ilekroć wszystkie promienie, z których się składa obraz, padają na powierzchnię lupy. Można więc, zamiast otrzymywać prążki na białym kartonie lub na szkłe matowym, obserwować je bezpośrednio zapomocą lupy; zobaczy się je takimi, jakimi są w jej ognisku. Wystarczy skierować ją ku punktowi świecącemu, umieszczając ją pomiędzy swem okiem a ciałem nieprzezroczystem tak, aby punkt spotkania promieni załamanych padał na środek źrenicy; poznaje się to po całkowitem oświetleniu powierzchni lupy. Ten sposób, który ma przewagę nad dwoma innymi pod tym względem, że pozwala dogodnie badać zjawiska dyfrakcyi, nawet w świetle nader osłabionem, ma jeszcze przewagę i pod tym względem, że daje możność śledzenia prążków zewnętrznych prawie aż do miejsca ich powstawania. Kiedy mianowicie obserwowałem te prążki bardzo blisko ich początku, lecz tak, aby mózdz jeszcze odróżnić pasmo ciemne 5-go rzędu, to odstęp, który je dzielił od brzegu cienia, porównywany

z podziałkami mikrometru, wydawał mi się mniejszy, niż półtora setnej części milimetra; i widziałem, że trzy pierwsze prążki były zawarte w przestrzeni, która nie przewyższała setnej części milimetra. Używałem przy tem soczewki o odległości ogniskowej dwumilimetrowej i — światła mniej więcej jednorodnego; używając soczewki bardziej wypukłej, zmniejszylibyśmy przestrzeń tę jeszcze bardziej. Tak więc można uważać, że, kiedy się posuwa dokładność tylko do setnych części milimetra, to pasma ciemne i błyszczące wychodzą jakby z samego brzegu ciała nieprzezroczystego; ta dokładność jest dostateczna; nie można jej nawet przewyższyć, gdy pasma, jak to bywa zazwyczaj, są dość szerokie.

Po ustaleniu dalszych jeszcze szczegółów zjawiska, znajduje Fresnel, że obserwacje nie dają się pogodzić z teorią emisyjną. Najbardziej uderzającym jest fakt, że ciemne i jasne prążki rozchodzą się od brzegów ekranu po hyperbolach, tymczasem molekuly świetlne, odchylone przez siły przyciągające lub odpychające, musiałyby w każdym razie iść po liniach prostych.

...Zapomocą zasady interferencyi można, przeciwnie, nie tylko pojąć zmiany szerokości, których doznają prążki zewnętrzne, kiedy się zbliża lub oddala ekran od punktu świecącego, lecz również — bieg krzywoliniowy ich pasm ciemnych i błyszczących. Prawo interferencyi lub wpływu wzajemnego promieni świetlnych jest konsekwencją bezpośrednią systemu falowego; zresztą jest ono dowiedzione tyloma doświadczeniami różnemi, iż jest obecnie jedną z najbardziej bezsprzecznych zasad optyki.

17. Grimaldi pierwszy poznał działanie, które wywierają na siebie promienie światła. W ostatnich czasach słynny doktor Tomasz Young dowiódł zapomocą doświadczenia prostego i pomysłowego, że prążki wewnętrzne wynikają ze spotkania promieni ugiętych z każdej strony ciała nieprzezroczystego; dowiódł on tego mianowicie, przejmując zapomocą ekranu jedną z wiązek światła. ³⁾ Doprowadza to zawsze prążki wewnętrzne do zaniku zupełnego, niezależnie od tego, jaka będzie forma, masa i natura ekranu i — czy się

zatrzymuje wiązkę świetlną przed lub też po jej pograżeniu się w cień.

18. Wytwarza się prążki żywsze o zarysach ostrzejszych, robiąc w kartonie lub w cienkiej blasze dwie szpary równoległe bardzo wąskie i dostatecznie zbliżone i umieszczając ten ekran tak przebity przed punktem świecącym; wówczas, jeżeli się obserwuje cień jego zapomocą lupy, umieszczonej pomiędzy ciałem nieprzezroczystym a okiem, widzi się dużą ilość prążków barwnych bardzo wyraźnych, kiedy światło dochodzi dwoma otworkami; te prążki znikają jednak, jak tylko światło jednej ze szpar zostaje zatrzymane.

Ten sam wynik otrzymał Fresnel, krzyżując wiązki świetlne, odbite od dwu zwierciadeł. *) O tem doświadczeniu pisze on między innymi:

Zauważę mimochodem, że tylko teoria interferencji mogła nasunąć myśl tego doświadczenia i że doświadczenie takie wymagało środków ostrożności nadto subtelnych i zbyt długich prób poomacku czynionych, aby przypadek mógł na nie naprowadzić.

Przy dokładnych pomiarach okazało się jednak, że i teoria interferencyjna bezpośrednio stosowana, nie jest w stanie ująć ściśle zjawisk dyfrakcyi. Mianowicie prążki dyfrakcyi zewnętrzne nie dają się wytómaczyć interferencyą promieni idących bezpośrednio z promieniami ugiętymi na brzegu ciała, jak to przypuszczał Young. Odchylenia pozycyi obserwowanych od pozycyi obliczonych na podstawie tego założenia są małe, ale, bądźco-bądź, dają się ściśle zmierzyć. Wówczas Fresnel wraca jeszcze raz na chwilę do hipotezy emisyjnej, lecz odrzuca ją ostatecznie, przekonawszy się, że natura ekranu nie ma najmniejszego wpływu na charakter prążków, co musiałoby mieć miejsce, gdyby powierzchnia ciał była siedliskiem sił, działających na światło. Tem kończy autor rozdział pierwszy rozprawy.

ROZDZIAŁ DRUGI.

Dowiodłszy w części pierwszej Rozprawy niniejszej, że systemat emisyjny, a nawet zasada interferencyi, jeżeli się

je stosuje tylko do promieni idących wprost i do promieni odbitych lub ugiętych na samym brzegu ekranu, nie wystarczają do wytlómaczenia zjawisk dyfrakcyi, pokażę teraz, że można dać wytlómaczenie zadawalające i teorię ogólną zjawisk w systemacie falowym, nie uciekając się do żadnej innej hipotezy pomocniczej, a opierając się tylko na zasadzie Huygens'a i zasadzie interferencyi, które, jedna i druga, są konsekwencyami hipotezy zasadniczej.

Taki jest punkt wyjścia nowej teorii Fresnel'a. W dalszych artykułach autor rozwiązuje przedewszystkiem zagadnienie o natężeniu świetlnem, które się otrzymuje przy interferencyi dwu promieni; zasadniczy wzór Fresnel'a znajdziemy obecnie w każdym poważniejszym podręczniku fizyki, (np. w „Zasadach“ Witkowskiego na str. 446, t. I-go; w podręczniku Chwolson'a na str. 121, t. I-go (1897) i t. d.

Stąd przechodzi Fresnel bezpośrednio do swej słynnej teorii stref, ⁵⁾ której treść podajemy w uwagach, odsyłając jednocześnie do podręczników; ob. np. Witkowskiego „Zasad“ t. II, art. 160, 161, 162 (wydanie z roku 1908). Z oryginału wyjmujemy tylko ustęp, który traktuje o przypadku szczególnie prostym z punktu widzenia teoretycznego.

48. Rozpatrzywszy przypadek, gdy prążki są wytwarzane przez ciało wązkie, przechodzą do przypadku, gdy je wytwarza mały otwór.

Niech AG oznacza otwór, przez który przepuszcza się światło. Przypuszczam z początku, że jest on dość wązki, aby prążki ciemne pierwszego rzędu znajdowały się zewnątrz cienia geometrycznego ekranu i były dostatecznie oddalone od brzegów B i D . Niech P będzie punktem najciemniejszym jednego z tych pasm; łatwo widzieć, że musi on odpowiadać

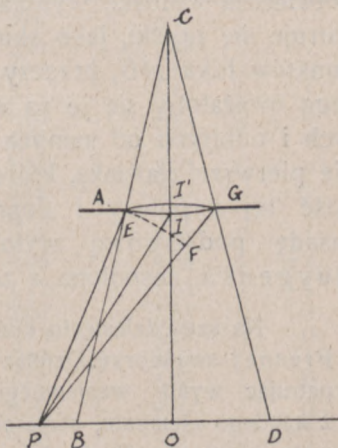


Fig. 49.

różnicy jednej długości fali pomiędzy dwoma promieniami skrajnymi AP i PG . Rzeczywiście, jeżeli sobie wyobrazimy drugi promień PI , poprowadzony w ten sposób, że jego długość jest średnią pomiędzy długością tamtych dwu, ⁶⁾ to, wskutek ich wyraźnie ukośnego kierunku względem łuku AIG , punkt I będzie niemal środkiem tegoż łuku. A zatem łuk ten będzie się składać z dwu innych, których elementy odpowiednie będą prawie równe i będą posyłać punktowi D drgania przeciwne, które tedy będą musiały niszczyć się wzajemnie.

Łatwo widzieć zapomocą podobnych rozumowań, że punkty najciemniejsze innych prążków ciemnych odpowiadają różnicom dróg równym parzystej liczbie połówek fal pomiędzy promieniami, wychodzącymi z dwu brzegów diafragmy, a punkty najsilniej oświetlone prążków błyszczących — różnicom, wynoszącym nieparzystą liczbę połówek fal. Inaczej mówiąc, prążki powinny zajmować pozycję wręcz przeciwną do tego położenia, którebyśmy wyprowadzili ze zgodności lub niezgodności promieni skrajnych, wychodząc z hipotezy, że tylko one biorą udział w wytwarzaniu prążków; jednak — z wyjątkiem prążka środkowego, który w jednym i w drugim systemacie powinien być jasny. Doświadczenie potwierdza wnioski, wynikające z systematu, w którym rozpatruje się prążki, jako skutek spotkania drgań wszystkich punktów łuku AG , przeczy zatem systematowi, według którego uważałoby się je za wytwór wyłącznie promieni ugiętych i odbitych od samych brzegów diafragmy. To są właśnie pierwsze zjawiska, które pozwoliły mi poznać niedokładność tej hipotezy i doprowadziły mnie do teorii, której zasadę podstawową wyłożyłem właśnie; jest to zasada Huygens'a, zespolona z zasadą interferencyi.

Na sześćdziesięciu końcowych stronicach rozprawy rozwija Fresnel swą teorię. Dzieląc powierzchnie falową na elementy i rozpatrując wynik wzajemnego oddziaływania fal, wychodzących z każdego elementu, staje on przed dość trudnem zagadnieniem matematycznym. Trudności udaje mu się przezwyciężyć; ostatecznie sprowadza Fresnel wszystko do obliczenia pewnych całek,

które dziś nazywamy jego imieniem. Fresnel bierze też na siebie niestęchanie zmużne obliczenie tych całek. W rezultacie opracowuje on szczegółowo trzy przypadki uginania się światła: 1)—prążki, wytworzone przez brzeg prostoliniowy nieograniczonego ekranu; 2) prążki, które daje układ dwu takich ekranów (szpara wązka); 3) zjawiska wewnątrz i zewnątrz cienia geometrycznego ekranu wązkiego (np. drutu).

Ręka w rękę z teorią idzie eksperyment. Fresnel sprawdza swe wywody setkami spostrzeżeń, otrzymując wszędzie zaskakującą zgodność z danymi obliczenia. Dla przykładu podajemy tu część niewielką jednej z wielu tablic spostrzeżeń.

TABLICA PORÓWNAWCZA.

wyników obserwacji i wyników teorii co do prążków zewnętrznych cieniów w świetle czerwonym jednorodnym, dla którego długość fali jest równa 0,000638 mm.

Numery spostrzeżeń	Odległości punktu świecącego od ciała nieprzezroczystego lub wartości <i>a</i>	Odległości ciała nieprzezroczystego od mikrometru lub wartości <i>b</i>	Rzędy prążków ciemnych.	Odległości punktu najciemniejszego każdego prążka od brzegu cienia geometrycznego		RÓŻNICE	
				Spostrzeżenie	Rachunek		
1	0,1000 m.	0,7985 m.	}	1	2,84	2,83	-1
				2	4,14	4,14	0
				3	5,14	5,13	-1
				4	5,96	5,96	0
				5	6,68	6,68	0
2	0,1985	0,637	}	1	1,73	1,73	0
				2	2,54	2,53	-1
				3	3,14	3,14	0
				4	3,65	3,64	-1
				5	4,06	4,08	+2
3	0,202	0,640	}	1	1,72	1,73	+1
				2	2,50	2,53	+3
				3	3,13	3,13	0
				4	3,62	3,63	+1
				5	4,07	4,07	0
4	0,510	0,110	}	1	0,39	0,39	0
				2	0,58	0,57	-1
				3	0,71	0,70	-1
				4	0,82	0,81	-1
				5	0,91	0,91	0

Ta nieporównana zgodność wyników doświadczenia z teorią była zapewne powodem, iż Schwerd, jeden z wybitnych niemieckich badaczy w dziedzinie uginania się światła, powiedział kiedyś, że teoria falowa przepowiada zjawiska dyfrakcyi z taką samą ścisłością, z jaką teoria grawitacyi przepowiada ruchy ciał niebieskich. Ciekawe potwierdzenie tej myśli znajdziemy w poniższej pracy Fresnel'a.

Obliczenie natężenia światła w środku cienia ekranu i okrągłego otworu, oświetlonych przez punkt promieniujący.*)

1. Po wydaniu przez Akademię sądu o Rozprawach konkursowych na temat dyfrakcyi, gdy P. Poisson zwrócił mi uwagę na to, że całki określone, które wyrażają natężenie światła, łatwo mogą być obliczone dla środka cienia ekranu lub otworu okrągłego, wykonałem obliczenie dla tego ostatniego przypadku i znalazłem w nim wytłumaczenie tak żywych barw, jakie często spostrzegałem w środku wiązki promieni po jej przejściu przez mały otwór ściśle okrągły. P. Poisson zakomunikował mi już był osobliwe twierdzenie, do którego doszedł w pierwszym przypadku, a mianowicie: że środek cienia ekranu okrągłego powinien być równie oświetlony, jak gdyby ekran nie istniał wcale, przynajmniej, — gdy promienie przenikają tam, mając kierunek niezbyt ukośny. Zamierzam dać tu najprostsze rozwiązanie tych dwu zagadnień, nie używając całek określonych, które służyły mi w Rozprawie poprzedniej do obliczania innych zjawisk dyfrakcyi. ⁶⁾

Podzielmy otwór szeregiem spółśrodkowych okręgów kół, nieskończenie blizkich sobie. Jeżeli przypuścimy, że ich promienie są proporcjonalne do pierwiastków kwadratowych z liczb naturalnych 1, 2, 3, i t. d., to powierzchnie kół będą podlegały postępowi 1, 2, 3, 4 i t. d., a powierzchnie pier-

*) Calcul de l'intensité de la lumière au centre de l'ombre d'un écran et d'une ouverture circulaires, éclairés par un point radieux. Oeuvres compl. t. I, str. 365.

ścieni, zawartych w małych odstępach, które oddzielają kolejne obwody kół, będą wszystkie sobie równe. Stosuje się to do części powierzchni fali padającej płaskiej lub kulistej, która spotyka otwór diafragmy. Podzieliliśmy więc falę padającą na nieskończoność małych pierścieni spółśrodkowych o równej powierzchni, z których każdy posyła przeto do środka rzutu tego otworu tę samą ilość promieni, mających niemal to samo natężenie, dopóki nachylenia nie są zbyt wielkie. Należy również zauważyć, że dla każdego pierścienia promienie, które on posyła do środka cienia, są wszystkie tej samej długości, przebiegają zatem drogi równe i są tam w doskonałej zgodności ze sobą. A więc systemy fal wypadkowych są proporcjonalne do powierzchni tych pierścieni i, co za tem idzie,—równego natężenia.

2. Ustaliwszy to, rozważmy przypadek szczególny, kiedy różnica dróg pomiędzy promieniem środkowym a promieniami, idącymi od brzegów ekranu, jest całkowitą wielokrotną połówki fali; przypuśćmy też z początku, że ta liczba jest parzysta: łatwo widzieć, że wówczas wszystkie fale elementarne, które dochodzą do środka cienia, zniszczą się wzajemnie. Rzeczywiście, podzielmy część powierzchni fali padającej, zawartą w otworze zasłony, zapomocą kół spółśrodkowych, rozmieszczonych w taki sposób, aby promienie, pochodzące z dwu kolejnych obwodów i zbiegające się po środku cienia, różniły się o pół długości fali; podzielimy ten otwór na tyleż pierścieni, włączając w to małe kółko środkowe, ile jest połówek fali różnicy pomiędzy promieniem środkowym i promieniami krańcowymi; a ponieważ liczba tych połówek fali jest parzysta, więc i liczba działek otworu również będzie parzysta. Otóż widocznem jest, że będą one miały tę samą powierzchnię lub, innymi słowy, że każda z nich będzie zawierać tę samą liczbę pierścieni elementarnych, o których mówiliśmy poprzednio, i że w dwu działkach kolejnych pierścienie elementarne, sobie odpowiadające, będą posyłać promienie, które po środku cienia będą się znajdowały w zupełnej niezgodności. A zatem wszystkie oświetlenie, wysłane do tego punktu przez dwie działki są-

siednie, zniosą się wzajemnie; ponieważ zaś one są w liczbie parzystej, więc wszystkie fale elementarne, które wycho-
dzą z fali padającej, zostaną zupełnie zniesione, i środek
rzutu otworu będzie pozbawiony światła. Otrzyma on prze-
ciwnie możliwie największą ilość światła, kiedy różnica dróg
pomiędzy promieniem środkowym i promieniami skrajnymi
będzie zawierać nieparzystą liczbę połówek fali, ponieważ
wówczas jedna z tych działek pozostanie wolna i całością
swą będzie oświetlać środek cienia.

3. Jeżeli chcemy teraz wiedzieć, jaki jest stosunek na-
tężenia pomiędzy światłem otrzymanem w tym ostatnim przy-
padku a światłem, które pada na ten sam punkt, kiedy się
zupełnie usunie ekran, dosyć jest zastosować rozumowanie
powyższe do przypadku, w którymby otwór był nieskończe-
nie wielki. Lecz aby dojść do rezultatu ścisłego, nie należy
już przypuszczać, że każda działka otworu lub pierścien
główny niszczy skutek, wywołany przez pierścien następny,
którego promienie różnią się o pół długości fali, albowiem,
choć powierzchnia dwóch pierścieni i natężenie promieni,
które one wysyłają, nieskończenie mało różnią się od siebie,
to jednak te różnice, jakkolwiek małe, powtórzone nieskoń-
czoność razy, mogą wytworzyć wielkość znaczną. Daleko
ściślejsem będzie powiedzenie, że drgania, wysyłane przez
każdy pierścien, są niszczone przez połowę prędkości bez-
względnych, które przynoszą promienie pierścienia poprze-
dzającego i promienie pierścienia po nim następującego;
albowiem, jeżeli różnice, o których właśnie była mowa, są
nieskończenie małemi pierwszego rzędu, to stają się one
nieskończenie małemi rzędu drugiego, kiedy się porównywa
powierzchnie pierścienia lub natężenie jego promieni z po-
łową sumy powierzchni lub natężenia promieni dwu pier-
ścieni, pomiędzy którymi on jest zawarty. A więc niema już
obawy, aby wynik obliczenia zawierał znaczny błąd wsku-
tek sumowania się wielkości pominiętych, bez względu na
ich liczbę. ⁷⁾

4. Stosując ten bieg rachunku do otworu skończonego,
doszlibyśmy do tych samych wyników, które znaleźliśmy

właśnie zapomocą innej kombinacyi fal elementarnych. Jest tak w rzeczy samej, ponieważ promienie każdego pierścienia są znoszone przez połowę prędkości bezwzględnych ⁸⁾ małego kółka środkowego i pierścienia skrajnego, które również zniosą się wzajemnie, jeżeli liczba działek jest parzysta, i będą się sumować, jeżeli jest nieparzysta, znów wytwarzając tę samą ilość światła, którejby dostarczył jeden pierścień lub małe kółko centralne. Ponieważ natężenie światła jest proporcjonalne do kwadratu prędkości bezwzględnych, więc, gdy otwór jest nieograniczony lub kiedy niema ekranu, punkt którym się zajmujemy, otrzymuje cztery razy mniej światła, niż przy użyciu ekranu, zaopatrzonego w otwór okrągły o średnicy takiej (w stosunku do położenia), że pomiędzy osią a promieniami skrajnymi jest różnica, wynosząca nieparzystą liczbę połówek fal. Jakakolwiek będzie średnica diafragmy, można zawsze zadośćuczynić temu warunkowi, zmieniając odpowiednio odległość od kartonu, na którym otrzymuje się cień, a nawet, jeżeli to jest potrzebne, — odległość punktu świecącego.

Oznaczając przez r promień otworu kolistego i przez a i b odległości ekranu od punktu świecącego i kartonu, wiemy, że różnica dróg pomiędzy osią i promieniami, idącymi od obwodu, równa jest

$$\frac{1}{2} r^2 \frac{(a+b)}{a b} **)$$

Zapomocą tego wzoru można łatwo obliczyć odległości, w których należy umieścić karton lub ognisko lupy, służącej do obserwacyi prążków, aby otrzymać minimum lub maximum światła po środku rzutu otworu. Wystarczy uczynić te wyrażenia równemi parzystej lub nieparzystej liczbie połówek fali, co daje w pierwszym przypadku

$$\frac{r^2 (a+b)}{a b} = 2 n \lambda$$

i w drugim

$$\frac{r^2 (a+b)}{a b} = (2 n + 1) \lambda.$$

*) Ob. wyprowadzenie tego wzoru na str. 323.

Zapomocą tych dwu równań oblicza się dla wszystkich wartości 1, 2, 3... i t. d., które się nadaje wielkości n , odległość b , która odpowiada natężeniu maksymalnemu lub minimalnemu w świetle jednorodnym, którego długość fali λ jest znana.

6. Sprawdziłem te wzory zapomocą obserwacji przy użyciu tegoż jednorodnego światła czerwonego, którego użyłem już w innych moich doświadczeniach z uginaniem się, i znalazłem, że istotnie, umieszczając ognisko lupy w odległościach obliczonych podług wzoru pierwszego, dostrzegało się jakby plamę atramentową po środku otworu kołowego, podczas gdy ten sam punkt osiągał, zdawało się, maximum jasności w odległościach, wyprowadzonych z wzoru drugiego.

Plama czarna miała ciemność zupełną tylko dla odległości, odpowiadających wartościom n , które nie przewyższały liczb 3 i 4. Powyżej tych liczb, t. j. bliżej ekranu, zaczynał dawać się wyczuć brak jednorodności światła użytego, i plama ciemna środkowa nie była już tak czarna.

.....

Rozprawa o wzajemnem oddziaływaniu promieni światła
spolaryzowanego, przez P.P. Arago i Fresnel'a. *)

(Annales de chimie et de physique, t. X, str. 288.—Zeszyt marcowy 1819).

.....
2. Podczas prób, których dokonywaliśmy wspólnie, jeden z nas (p. Arago) wpadł na myśl, że mogłoby być ciekawem zbadać, czy działania wzajemne, wywierane zwykle przez promienie światła zwyczajnego, nie doznałyby zmiany, gdyby doprowadzić do interferencyi dwie wiązki świetlne dopiero po uprzednim ich spolaryzowaniu.

Wiadomo, że jeżeli ciało oświetlić wiązką światła, które wychodzi z punktu promieniującego, cień jego jest obramowany po stronie zewnętrznej szeregiem prążków, wytworzonych przez interferencyę światła, idącego po linii prostej z promieniami ugiętymi w sąsiedztwie ciała nieprzezroczystego; i — że część tegoż światła, przenikając wgłąb cienia geometrycznego z dwu przeciwnych brzegów ciała, daje początek prążkom tego samego rodzaju: otóż znaleźliśmy przedewszystkiem z łatwością, że te dwa układy prążków są najzupełniej do siebie podobne, niezależnie od tego, czy światło padające nie dozna żadnej modyfikacyi,

*) Mémoire sur l'action que les rayons de lumière polarisée exercent les uns sur les autres, par MM. Arago et Fresnel. Fresnel, Oeuvres compl., t. I, str. 509.

czy też dojdzie do ciała po uprzednim spolaryzowaniu. A zatem promienie spolaryzowane w tym samym kierunku, mieszając się, oddziałują na siebie podobnie, jak i promienie naturalne.

3. Pozostawało jeszcze spróbować, czy dwa promienie spolaryzowane pierwotnie w kierunkach przeciwnych, nie wytworzą zjawisk tegoż rodzaju, krzyżując się we wnętrzu cienia geometrycznego ciała nieprzezroczystego.

W tym celu każdy z autorów rozprawy szukał środków doświadczalnych na swoją rękę. Fresnel wykonał kilka doświadczeń, posługując się ciałami dwójłomnymi; okazało się, że promień nadzwyczajny, oddziałując na promień zwyczajny (obydwa są spolaryzowane w płaszczyznach wzajemnie prostopadłych) nie daje prążków interferencyjnych.

6. Metoda, którą obmyślił ze swej strony do wykonania tegoż doświadczenia p. Arago, była niezależna od podwójnego załamania. Wiadomo oddawna, że jeżeli się zrobi w arkuszu cienkiej blachy dwie szpary bardzo wąskie i mało odległe jedna od drugiej i jeżeli się je oświetli światłem jednego tylko punktu świecącego, to za arkuszem powstają prążki nader żywe, wynikające z oddziaływania, które promienie szpary prawej wywierają na promienie szpary lewej w punktach, gdzie się one ze sobą mieszają. Aby spolaryzować w kierunkach przeciwnych promienie, pochodzące z tych dwu otworów, p. Arago zamierzał z początku użyć cienkiego agatu, przekrajanego po środku, umieszczając każdą połowę przed jedną ze szpar,—w każdym razie w ten sposób, żeby części agatów z początku przyległy znalazły się wówczas w kierunkach wzajemnie prostopadłych. To urządzenie powinno było oczywiście wywołać skutek oczekiwany; lecz, nie mając w danej chwili pod ręką odpowiedniego agatu, zaproponował P. Arago zastąpić go przez dwa stopy płytek; stopy miały być złożone z blaszek mikowych, a to w celu nadania im niezbędnego w tem doświadczeniu stopnia cienkości.

W tym celu wybraliśmy piętnaście tych blaszek, możli-

wie najczystszych, i ułożyliśmy je jedna na drugiej. Potem zapomocą narzędzia ostrego ten jeden stos został podzielony po środku. Jasnym jest więc, że dwa stosy cząstkowe, które otrzymano z tego podziału, powinny być mieć prawie zupełnie tę samą grubość, przynajmniej w częściach, które z początku do siebie przylegały, choćby nawet blaszki, z których stos się składał, były wyraźnie przyzmatyczne. Te stosy polaryzowały światło, które przez nie przechodziło, prawie zupełnie, gdy kąt padania, liczony od powierzchni, był równy trzydziestu stopniom. Pod tym właśnie nachyleniem każda z nich była umieszczona przed jedną ze szpar w cienkiej blaszce miedzianej.

Kiedy obydwie płaszczyzny padania były równoległe i kiedy obydwa stosy były nachylone w tym samym kierunku, np. od góry do dołu, widać było wyraźnie prążki utworzone przez interferencyę dwu wiązek spolaryzowanych, zupełnie jak wówczas, gdy się wywołuje wzajemne oddziaływanie dwu promieni światła zwyczajnego; kiedy jednak, przy obracaniu jednego ze stosów koło promienia padającego, dwie płaszczyzny padania stawały się wzajemnie prostopadłe (tak np. kiedy pierwszy stos pozostawał wciąż nachylony od góry do dołu, a drugi był przechylony od lewej ręki ku prawej), wówczas dwie wiązki wychodzące, spolaryzowane w kierunkach przeciwnych, spotykając się, nie tworzyły już żadnego prążka dostrzegalnego.

Środki ostrożności, któreśmy przedsięwzięli, aby nadać obydwu stosom tę samą grubość, dostatecznie pozwalają przewidzieć, że, umieszczając je przed szparkami, zważaliśmy, aby światło przechodziło przez nie w tych częściach, które przylegały do siebie przed podziałem stosu wielkiego. Widzieliśmy zresztą, i ta okoliczność odpiera wszelkie zarzuty, które możnaby czynić pod tym względem, że prążki pokazywały się w sposób zwykły, kiedy promienie były spolaryzowane w tym samym kierunku; dodajmy niemniej, że powolna i stopniowa zmiana w nachyleniu jednego ze stosów nigdy nie wywoływała ukazywania się prążków, kiedy płaszczyzny padania były wzajemnie prostopadłe.

UWAGI.

¹⁾ (Str. 299). Trudność przypuszczenia w eterze fal poprzecznych polega na tem, że fale poprzeczne mogą się rozchodzić tylko w środowisku stałym, ciecze bowiem nie sprzeciwiają się odkształceniu postaci, które jest powodem powstawania fal poprzecznych. Jeżeli zgodzimy się na to, iż eter jest środowiskiem stałym, to napotkamy sprzeczność; w środowisku izotropowym prędkość rozchodzenia się fal poprzecznych v wyraża się zapomocą wzoru

$$v = \sqrt{\frac{n}{d}},$$

gdzie n oznacza współczynnik sztywności, a d — gęstość środowiska; biorąc pod uwagę, że $v = 3 \times 10^{10} \frac{\text{cm.}}{\text{sek.}}$, znajdziemy drogą prostego rachunku, że, gdyby nawet eter miał gęstość wody, jego współczynnik sprężystości byłby setki milionów razy większy od współczynnika sprężystości stali. Wogóle wszelkie próby opisanja własności mechanicznych eteru nie doprowadziły dotychczas do wyników, któreby można było przyjąć z pewnem prawdopodobieństwem.

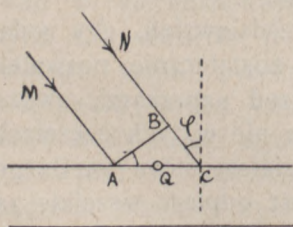


Fig. 50.

²⁾ (Str. 304). Z fig. 50 widać, że $BC = AC \sin \varphi$. Im większe jest nachylenie promieni, tem większa różnica dróg (BC) istnieje pomiędzy promieniami, padającymi na powierzchnię w A i C . Gdyby zatem prążek ciemny powstawał wskutek pojawiającej się się co pewien odstęp predyspozycji światła do łatwego przechodzenia, to, przy bardziej ukośnym kierunku

promieni, musiałyby to mieć miejsce nie w punkcie C , naprzykład, (jeżeli BC odpowiada wyobraźalnemu odstępowi pomiędzy stanem łatwego przechodzenia i stanem łatwego odbijania się), lecz w jakimś punkcie Q , bliższym punktu A .

Teoria falowa przewiduje przeciwnie, że, przy większym kącie nachylenia, pierścienie będą się rozsuwały, co zgadza się z doświadczeniem. Ob. Chwolson'a „Kurs Fizyki“ t. II, str. 507, wzór 33 (wyd. r. 1898).

³⁾ (Str. 307). Obacz rozprawę Young'a „Doświadczenia i obliczenia, dotyczące optyki fizycznej“, na str. 289 zbioru niniejszego.

⁴⁾ (Str. 308). W tem słynnym doświadczeniu ustawiał Fresnel obok siebie dwa zwierciadła pod kątem niemal $= 180^\circ$; umieszczone z boku źródło światła dawało obraz w każdym ze zwierciadeł. Promienie, wychodzące z każdego z tych punktów, spotykały się ze sobą i interferowały. (ob. np. Chwolson. l. c., str. 492).

⁵⁾ (Str. 309). Teoria Fresnel'a nie wytrzymuje, pomimo wszystko, krytyki ścisłej. Konsekwentna teoria zjawisk dyfrakcyi musi się opierać na rozwiązaniu równania różniczkowego rozchodzenia się fal. Odsyłamy w tym względzie czytelnika do książki Druđe'go: „Lehrbuch der Optik“, Lipsk, Hirzel, 1906, wydanie 2-gie, rozdział III-ci i IV-ty.

⁶⁾ (Str. 310). Obliczenia, związane z konstrukcją stref Fresnel'a, wymagają pewnej ostrożności: początkujący łatwo wpada w błąd, pomijając w rachunku wielkości, które nie są tak małe, aby mogły być odrzucone. Z tego względu dajemy tu wywód obszerniejszy, uzasadniając za każdym razem pomijanie wielkości małych. Niech A oznacza punkt świecący, a B —punkt, w którym obliczamy natężenie świetlne; $AM = a$ —promień fali kulistej, wychodzącej z A ; $BQ = b$; $PM = r$, przyczem dla małego $\angle \varphi$, PM nie różni się od QM . Wszystkie punkty fali MQN wysyłają promienie ku pun-

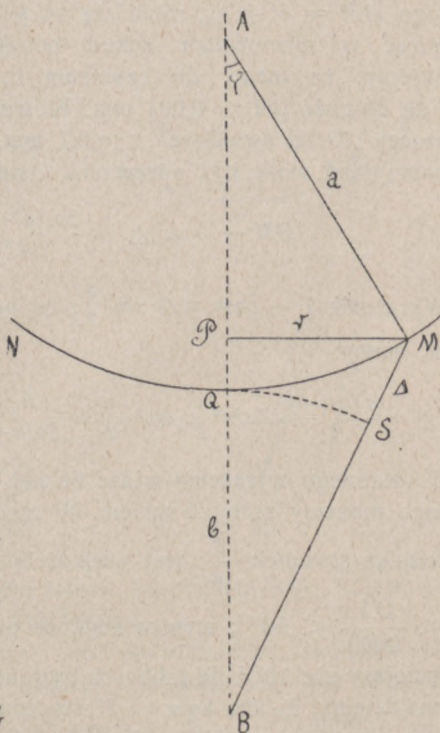


Fig. 51.

ktowi B . Zajmiemy się przede wszystkim znalezieniem zależności pomiędzy różnicą dróg $BM - BQ = \Delta$, a wielkością r .

Z $\triangle AMB$ wynika:

$$BM^2 = a^2 + (a+b)^2 - 2a(a+b)\cos\varphi = 2a^2 + 2ab + b^2 - 2a(a+b)\cos\varphi = \\ = 2a(a+b)(1 - \cos\varphi) + b^2.$$

Stąd

$$BM^2 - b^2 = 2a(a+b)(1 - \cos\varphi), \\ (BM+b)(BM-b) = 2a(a+b)(1 - \cos\varphi), \\ BM - b = \frac{2a(a+b)}{BM+b}(1 - \cos\varphi).$$

Odległości a i b równają się każda przynajmniej 1 metrowi. Będziemy rozpatrywali tylko ten przypadek, kiedy promienie boczne są nachylone pod bardzo małymi kątami tak, że różnica dróg nie przynosi w żadnym razie kilkudziesięciu fal świetlnych. Wobec tego $BM = b + \Delta$, różni się od b o wielkość, którą można pominąć w mianowniku wzoru ostatniego. Rzeczywiście, przypuśćmy, że mamy do czynienia z podczerwoną częścią widma i że długość fali = 0,001 mm. Wówczas, przy różnicy dróg wynoszącej 100 fal świetlnych, $\Delta = 0,1$ mm.; wielkość ta, wobec $b = 1$ m. naprzykład, może być odrzucona. Ostatni wzór napiszemy zatem:

$$BM - b = \Delta = \frac{2a(a+b)}{2b}(1 - \cos\varphi)$$

Wyrażenie $1 - \cos\varphi = 2 \sin^2 \frac{\varphi}{2}$, co podstawiając we wzór poprzedni, mamy:

$$\Delta = \frac{a(a+b)}{b} \cdot 2 \sin^2 \frac{\varphi}{2}; \quad \sin^2 \frac{\varphi}{2} = \frac{b\Delta}{2a(a+b)}; \quad \sin \frac{\varphi}{2} = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{b}{a} \cdot \frac{\Delta}{a+b}}$$

Z ostatniego wyrażenia widać że kąt φ jest tak mały, iż wstawę jego możemy zastąpić łukiem. W rzeczy samej, pod znakiem pierwiastka stosunek $\frac{b}{a}$ jest wielkością skończoną, stosunek $\frac{\Delta}{b+a}$

$< \frac{0,1}{1000} < 10^{-5}$; wynika stąd, że pierwiastek jest bezwarunkowo mniejszy niż 10^{-2} . W tablicach trygonometrycznych czteroznacznych znajdziemy, że dla kąta = 1° stycznica i wstawa wyrażają się jedną i tą samą liczbą 0,0175. Na tej podstawie i w danym razie zastąpimy wstawę łukiem i napiszemy:

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \frac{\varphi}{2} = \sqrt{\frac{b \Delta}{2a(a+b)}}; \quad \varphi = \sqrt{\frac{2b}{a(a+b)}} \cdot \Delta$$

Z Δ -ta APM :

$$\sin \varphi = \varphi = \frac{r}{a};$$

wstawiając tę wartość φ w równanie poprzednio napisane, mamy:

$$\varphi = \frac{r}{a} = \sqrt{\frac{2b}{a(a+b)}} \Delta; \quad \Delta = \frac{r^2(a+b)}{2ab}; \quad r^2 = \frac{2ab}{a+b} \cdot \Delta.$$

Konstrukcja Fresnel'a polega na tem, że z punktu B prowadzi się szereg promieni, z których każdy następny różni się od poprzedniego o $\frac{1}{2}\lambda$ (połowę długości fali). Tak więc na fig 52 M_1S_1 , M_2S_2 , $M_3S_3 = \frac{1}{2}\lambda$. Obracając tę figurę koło osi AB , otrzymujemy w przestrzeni szereg stref. Te strefy, w granicach naszego przybliżenia, możemy uważać za płaskie czyli za pierścienie zawarte pomiędzy sąsiednimi kołami. Linia, którą oznaczyliśmy na poprzedniej figurze literą r , może być uważana za promień odpowiedniego koła. Ponieważ wielkość Δ we wzorze

$$r^2 = \frac{2ab}{a+b} \Delta$$

przybiera szereg wartości:

$$1 \cdot \frac{\lambda}{2}; \quad 2 \cdot \frac{\lambda}{2}; \quad 3 \cdot \frac{\lambda}{2} \dots n \cdot \frac{\lambda}{2},$$

przeto kolejne promienie $r_1, r_2, r_3 \dots r_n$ mają się do siebie, jak pierwiastki kolejnych liczb całkowitych. Biorąc powierzchnie kół $= \pi r_n^2$, czytelnik udowodni łatwo, że powierzchnie kolejnych stref są sobie równe (ob. str. 310 tekstu).

Zauważymy, że promienie stref są rozmiarów skończonych i że same strefy mogą być wykreślone na papierze. Tak naprzykład, zakładając, że $a = b = 5000$ mm. i że $\Delta = \frac{\lambda}{2} = 0,0003$ mm. (św. czerwone), znajdziemy, że promień pierwszej strefy = 1,22 mm.

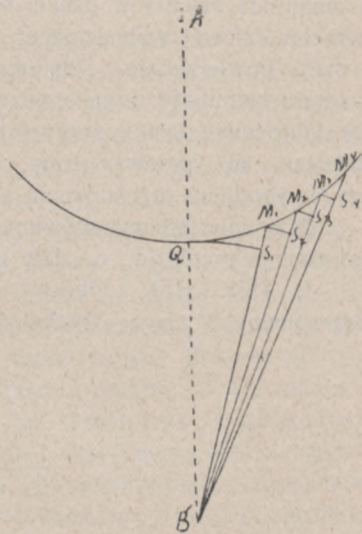
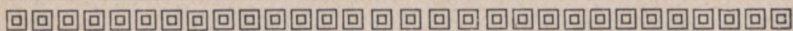


Fig. 52.

⁷⁾ (Str. 314). Wywód uderzającego wniosku, że przy użyciu ekranu oświetlenie jest w maximach 4 razy silniejsze, niż przy swobodnem rozchodzeniu się światła, bez stosowania przegród jakichkolwiek, można krótko ująć w sposób następujący. Maxima otrzymujemy wówczas, kiedy w otworze mieści się nieparzysta liczba stref. Te ostatnie niszczą się wzajemnie parami, wobec czego jedna, centralna, pozostaje wolną od wpływów. O ile ekranu niema, wówczas, ze względu na wielką liczbę stref i związany z tem ukośny kierunek promieni, lepiej będzie uważać (ob. rozumowanie Fresnel'a na str. 315, patrz również Witkowskiego „Zasad”. t. II, art. 160), że każda strefa znosi się dzięki działaniu dwu połówek stref przyległych. Ostatnie strefy, które wysyłają promienie niemal styczne do swej powierzchni, w rachubę nie wchodzi. Wobec tego pozostaje tylko $\frac{1}{2}$ strefy pierwszej. Naturalnem jest przypuszczenie, że amplituda światła w danem miejscu jest proporcjonalna do powierzchni falowej wzbudzającej drgania, przynajmniej, o ile chodzi o małe powierzchnie. Ponieważ energia jest proporcjonalna do kwadratu amplitudy drgania, przeto, w przypadku ekranu, pozostające nieosłabionem działanie strefy środkowej da natężenie światła 4 razy silniejsze, niż połowa strefy, której działanie należy uwzględnić przy swobodnem rozchodzeniu się światła.

Przy interferencyi mówimy obecnie o składaniu drgań; Fresnel sumuje prędkości, co daje ten sam wynik.

⁸⁾ (Str. 315). Obecnie powiedzielibyśmy nie „prędkości bezwzględnych”, lecz „wychyleń”.



GUSTAW KIRCHHOFF I ROBERT BUNSEN.

W roku 1859 dokonali Kirchhoff i Bunsen, dwaj profesorowie uniwersytetu Heidelberskiego, wiekopomnego odkrycia metody analizy widmowej. Nie byli oni pierwszymi obserwatorami widm liniowych, lecz pierwsi pokazali drogę systematycznego, konsekwentnego stosowania badań nad składem światła do poznawania gatunków materii. Nie wiele jest narzędzi naukowych, któreby tak dalece rozszerzyły granice poznania ludzkiego, jak spektroskop.

Kirchhoff'a i Bunsen'a znamy głównie, jako twórców spektroskopii. Nie małe jednak były i inne ich zasługi naukowe. Kirchhoff (1824—1887) dał szereg doniosłych rozpraw z dziedziny fizyki matematycznej. Na gruncie badań teoretycznych doszedł do swych znanych praw, dotyczących rozgałęzienia prądów. W związku z odkryciem analizy widmowej znalazł też słynne prawo o proporcjonalności pomiędzy zdolnością emisyjną i absorbcyjną (pochłaniania).

Na to prawo naprowadziło go spostrzeżenie przypadkowe. Ustawiwszy na drodze promieni płomień spirytusowy, zabarwiony sodem, zauważył silniejsze uwydatnianie się linii czarnych. Miał on wówczas opuścić pracownię, dla zastanowienia się na tym fakcie, ze słowami „zdaje mi się, że to jest sprawa zasadnicza“ („das scheint mir eine fundamentale Geschichte“). Na drugi dzień miał już w swem ręku klucz do wyłómaczenia linii Fraunhofer'a w widmie słonecznym.

Zespół Kirchhoff'a z Bunsen'em był jak najszcześniejszy. Wielki geniusz eksperymentatorski drugiego uzupełniał subtelne

i głębokie rozumowanie pierwszego, Szczególnie celował Bunsen w odnajdywaniu ścisłych metod badania. Z tej strony działalność Bunsen'a jest dobrze znana każdemu: w chemii stworzył on metodę analizy gazów, w fizyce był wynalazcą kalorymetru lodowego, który do dziś nosi jego imię.

Z imieniem Bunsen'a wiążemy również wiele przyrządów laboratoryjnych pierwszej potrzeby; wskażemy np. palnik, tryskawkę, pompki wodne ssące (aspiratory), ogniwa.

We wszystkich dziedzinach wiedzy, których dotykał, pozostawił Bunsen głęboki ślad po sobie; tak, na przykład, słynne są jego badania nad związkami kakodylowymi w chemii organicznej, on też dał podstawy fotochemii; on w chemii nieorganicznej zasłużył się badaniami nad związkami rubidu i cezu, które to pierwiastki odkrył był zapomocą metody analityczno-widmowej.

Posiadał Bunsen zarazem wybitny talent pedagogiczny. W jego pracowni kształciły się całe zastępy młodych chemików, którzy metody jego szerzyli później w świecie całym. Pozostawał na stanowisku profesora w Heidelbergu do 78 roku życia. Urodzony w roku 1811 zmarł w 1899.

Analiza chemiczna na drodze spostrzeżeń widmowych
przez G. Kirchhoff'a i R. Bunsen'a. *)

ROZPRAWA PIERWSZA.

Wiadomo, że pewne substancje mają taką własność, że, jeżeli je wprowadzić w płomień, to wywołują występowanie w jego widmie pewnych linii jasnych. Można oprzeć na tych liniach metodę analizy jakościowej, która znacznie rozszerza dziedzinę reakcji chemicznych i prowadzi do rozstrzygnięcia problemów dotychczas niedostępnych. Ograniczamy się tu z początku do tego, że rozwijamy tę metodę dla metali alkalicznych i metali ziem alkalicznych ¹⁾ i wyjaśniamy jej wartość na szeregu przykładów.

Wspomniane linie ukazują się tem wyraźniej, im wyższa jest temperatura i im mniejsze jest własne natężenie świetlne płomienia. Lampa gazowa, opisana przez jednego z nas, ²⁾ daje płomień o bardzo wysokiej temperaturze i o bardzo małym natężeniu świetlnym; dla tego też nadaje się ten płomień przedewszystkiem do doświadczeń dotyczących jasnych linii, pewnym substancjom właściwych.

Na tablicy I-szej ³⁾ są przedstawione widma, które daje rzeczony płomień, gdy się w nim ulatniają możliwie czysto

*) Chemische Analyse durch Spectralbeobachtung von G. Kirchhoff und R. Bunsen. Ostwald's Klassiker № 72.

otrzymane chlorki potasu, sodu, litu, strontu, wapnia, baru. Dla ułatwienia orientacji dołączono widmo słoneczne.

Związek potasu, używany do doświadczeń, został otrzymany przez przepalenie chloranu potasowego, który uprzednio był przekrystalizowany sześć do ośmiu razy.

Chlorek sodu wytworzyliśmy z czystego węgla sodowego i kwasu solnego i również czyściliśmy go przez często powtarzane przekrystalizowywanie. Sól litu była oczyszczona przez czternastokrotne strącanie zapomocą węgla amonowego.

Z taką samą starannością otrzymywali autorowie w stanie czystym i inne związki: chlorki wapnia, baru i strontu.

Na fig. 53. str. 328 jest podany obraz przyrządu, którym przeważnie posługiwaliśmy się przy obserwowaniu widm. *A* jest to pudło w środku wyczernione, którego dno ma postać trapezu i które spoczywa na trzech nogach; dwie ukośne ściany boczne pudła, które tworzą ze sobą kąt około 58° , niosą dwie małe lunetki *B* i *C*. Soczewki oczne pierwszej są usunięte i zastąpione przez płytkę, w której znajduje się szpara utworzona z dwu ostrzy mosiężnych; jest ona umiesz-

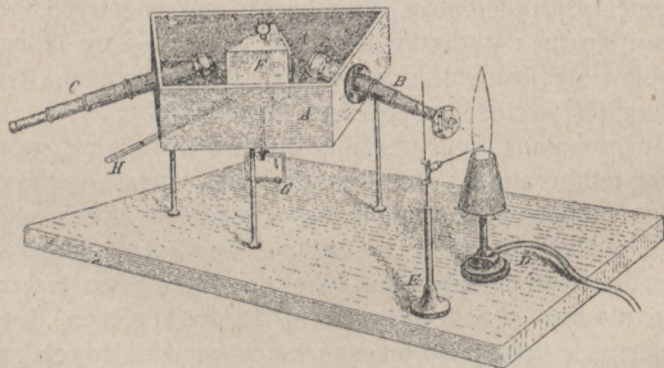


Fig. 53.

czona w ognisku obiektywu. Przed szparą stoi lampa *D* tak, że oś rury *B* napotyka brzeg jej płomienia. Cokolwiek poniżej miejsca, gdzie oś spotyka brzeg płomienia, wchodzi

weń koniec bardzo cienkiego drutu platynowego, wygięty w uszko; podstawa *E* podtrzymuje drut; do uszka z drutu jest przytopiona perełka badanego związku chlorowego, po uprzednim usunięciu wody. Pomiedzy obiektywami lunet *B* i *C* stoi pryzmat *F* o kącie łamiącym równym 60° , napełniony siarczkiem węgla. Pryzmat spoczywa na płytce miedzianej, która daje się obracać około osi pionowej. Ta oś niesie na swym dolnym końcu zwierciadło *G* i nad niem ramię *H*, które służy za rączkę (Handhabe), przy obracaniu pryzmatu i zwierciadła. Na zwierciadło jest skierowana mała lunetka, która oku, przez nią patrzącemu, pokazuje obraz odbity skali poziomej, ustawionej w niewielkiej odległości. Zapomocą obracania pryzmatu można przesunąć całe widmo koło pionowej nici lunety *C* i każde miejsce w widmie doprowadzić do zakrycia przez tę nitkę. ⁴⁾ Każdemu miejscu widma odpowiada pewne odczytanie na skali. Jeżeli światło widma jest słabe, to nic lunety oświetla się zapomocą soczewki, która część promieni wychodzących z lampy rzuca przez mały otwór, zrobiony z boku w rurce okularu lunety *C*.

Widma przedstawione na tab. I, wytworzone zapomocą wyżej wspomnianych czystych chlorków, porównaliśmy z widmami, które się otrzymuje, kiedy się wprowadza bromki, jodki, wodorotlenki, siarczany i węglany odpowiednich metali w następujące płomienie:

w płomień	siarki,
"	" siarczku węgla,
"	" alkoholu wodnego,
"	płomień nieświecący gazu świetlnego
"	" tlenku węglowego,
"	" wodoru i
"	" gazu piorunującego.

Przy tych badaniach szeroko ujmujących przedmiot a zarazem zabierających dużo czasu, których szczegóły, jak sądzimy, możemy pominąć, okazało się, że różnorodność związków, w których metale były używane, rozmaitość procesów chemicznych w płomieniach poszczególnych i olbrzy-

mie różnice temperatur tych ostatnich nie wywierają żadnego wpływu na pozycję linii widmowych, odpowiadających poszczególnym metalom.

Aby otrzymać dalszy dowód na to, że każdy z pomiędzy wielokrotnie nazwanych metali zawsze wywołuje w widmie powstawanie tych samych linii jasnych, porównaliśmy narysowane widma z temi widmami, które daje iskra elektryczna, przeskakująca pomiędzy elektrodami z tych metali.

Małe kawałki potasu, sodu, litu, strontu i wapnia zostały przywiązane do cienkich drutów platynowych i zostały parami tak zatopione w rurkach szklanych, że były oddzielone od siebie odstępem od 1 do 2 mm., i druty przenikały przez ściankę szklaną. Każda z tych rurek była ustawiona przed szparą przyrządu spektralnego; za pomocą aparatu indukcyjnego Ruhmkorff'a przepuszczaliśmy iskry pomiędzy wspomnianymi kawałkami metali i porównywaliśmy ich widma z widmem płomienia gazowego, w który był wprowadzony chlorek odpowiedniego metalu. Płomień znajdował się za rurką szklaną. Kolejno wprawiając aparat Ruhmkorff'a w ruch i zatrzymując go, łatwo było bez pomiaru przekonać się o tem stanowczo, że w błyszczącym widmie iskry znajdowały się nieprzesunięte jasne linie widma płomienia. Oprócz tych występowały w widmie iskrowem jeszcze inne jasne linie, z których jedna część musi być przypisana obecności w elektrodach metali obcych, druga część — azotowi, który wypełniał rurki, gdy tlen połączył się z częścią elektrod.

Wydaje się na podstawie tego niewątpliwem, że jasne linie zaznaczonych widm mogą być uważane za pewne oznaki obecności danych metali. Mogą one służyć za reakcję, za pomocą której te substancje dają się wykazać jaśniej, prędzej i w ilościach mniejszych, niż za pomocą jakiegokolwiek innego środka analitycznego.

Podane obrazy widm dotyczą przypadku, kiedy szpara jest tak szeroka, że z pomiędzy ciemnych linii widma słonecznego tylko najwyraźniejsze są dostrzegalne, kiedy powiększenie lunety obserwacyjnej jest małe (mniej więcej

czterokrotne) a natężenie światła umiarkowane. Te warunki wydają się nam najkorzystniejszymi, kiedy chodzi o to, aby wykonać analizę chemiczną zapomocą obserwacji widmowych. W innych warunkach wygląd może być zasadniczo różny. Jeżeli powiększymy czystość widma, to wiele z pomiędzy linii narysowanych pojedynczo rozpada się na linii kilka, naprzykład linia sodu—na dwie.

.

A teraz mają być bliżej omówione odrębne własności widm poszczególnych, których znajomość jest ważna pod względem praktycznym, i mają być wykazane korzyści, które daje oparta na nich metoda analizy chemicznej.

S ó d.

Ze wszystkich reakcyi widmowych reakcyja na sól jest najczulsza. Żółta linia *Na₂*, jedyna, którą okazuje widmo sodu, zbiega się z linią *D* Fraunhofer'a i odznacza się swemi szczególnie ostremi granicami i swoją nadzwyczajną jasnością. Jeżeli temperatura płomienia jest bardzo wysoka, a ilość użytej substancyi bardzo wielka, to w najbliższej okolicy linii ukazują się ślady widma ciągłego. Same przez się słabe linie innych ciał, przypadające w pobliżu niej, wydają się wtedy jeszcze bardziej osłabionemi i dlatego często dopiero wówczas stają się widoczne, kiedy reakcyja na sól zaczyna ugasać.

W tlenkach, chlorkach, jodkach i bromkach, siarczanach i węglanach pokazuje się reakcyja najwyraźniej. Jednak nie brak jej w nawet krzemianach, boranach, fosforanach i innych solach, wytrzymujących działanie ognia.

Już Swan zwrócił uwagę na to, jak mała ilość soli kuchennej może jeszcze wyraźnie wywołać linię sodu. Następujące doświadczenie pokazuje, że chemia nie może wskazać ani jednej reakcyi, któraby choć w przybliżeniu dała się porównać pod względem czułości z tem analityczno

widmowem określeniem sodu. W pokoju do obserwacji, który zawiera mniej więcej 60 m.³ powietrza, w rogu, możliwie oddalonym od miejsca ustawienia przyrządu, wywołaliśmy mały wybuch 3 miligramów chloranu sodowego z cukrem mlekowym, gdy jednocześnie obserwowano nieświecąca lampę, umieszczoną przed szparą. Już po niewielu minutach płomień, stopniowo zabarwiający się na słaby kolor żółty, dał mocną linię sodu, która znikła znów zupełnie dopiero po 10 minutach. Z wagi soli użytej i z wagi powietrza zawartego w pokoju łatwo można obliczyć, że w jednej części wagowej powietrza nie mogła być zawarta nawet $\frac{1}{20000000}$ część wagowa dymu sodowego. Ponieważ reakcję z całą dogodnością można oglądać w ciągu jednej sekundy, a w ciągu tego czasu, sądząc z dopływu i składu gazów płomienia, rozżarza się w nim około 50 cm.³ czyli 0,0647 gr. powietrza, które zawierają mniej niż $\frac{1}{20000000}$ część soli sodowej, wynika więc stąd, że oko może rozpoznać jak najwyraźniej jeszcze mniej, niż $\frac{1}{3000000}$ mg. soli sodowej. Przy takiej czułości reakcyi stałe się zrozumiałem że w rozżarzonem powietrzu atmosferycznym rzadko brak wyraźnej reakcyi na sól. Ziemia więcej, niż w dwu trzecich swej powierzchni jest pokryta roztworem soli, który nieustannie zamienia się w pył wodny pod wpływem spienionych i przewalających się fal morskich. Kropelki wody morskiej, które w ten sposób dostają się do atmosfery, parują i pozostawiają pyłki, zawierające sól kuchenną.

Następne rozdziały zawierają szczegółowy opis widm metali alkalicznych i metali ziem alkalicznych; autorowie wskazują zarazem sposoby, pozwalające wykryć te pierwiastki przy ich wspólnem występowaniu. W końcu rozprawy zwrócona jest uwaga na doniosłość nowej metody dla odkrywania nowych ciał i dla badań astronomicznych.

Dla wykrycia dotąd nieznanego pierwiastków po-
winnaby analiza widmowa zdobyć nie mniej ważne znacze-

nie. Gdyż, jeżeli istnieją ciała, które w naturze są tak skąpo rozpowszechnione, iż dotychczasowe środki analizy pozostawiają nas bezsilnymi w ich rozpoznaniu i oddzieleniu, to wolno będzie spodziewać się rozpoznania i określenia wielu z pomiędzy ciał takich, które na drodze zwykłej usuwają się z pod jakiegokolwiek dostrzegania chemicznego, zapomocą prostej obserwacji widm ich płomieni. Że naprawdę istnieją takie dotąd nieznanne pierwiastki, o tem mieliśmy już sposobność przekonać się. Opierając się na niewątpliwych wynikach metody analityczno-widmowej, mniemamy, że już teraz możemy twierdzić z całą pewnością, że obok potasu, sodu i litu istnieje jeszcze czwarty metal, należący do grupy alkalicznej, który daje widmo również charakterystyczne i proste, jak i lit,—metal który przy użyciu naszego aparatu widmowego pokazuje tylko dwie linie: niebieską, która zlewa się prawie z linią strontu $Sr\delta$, i drugą niebieską, która leży tylko cokolwiek dalej ku fioletowemu końcowi widma, a pod względem natężenia i ostrości brzegów współzawodniczy z linią litu.

Jeżeli analiza widmowa daje (mniemamy, żeśmy tego dowiedli), zadziwiająco prosty środek wykrywania najmniejszych śladów pewnych pierwiastków w ciałach ziemskich, to z drugiej strony otwiera ona badaniu chemicznemu dziedzinę dotąd zupełnie zamkniętą, która sięga daleko poza granicę ziemi, a nawet—naszego układu słonecznego. Ponieważ w metodzie analitycznej, o której mowa, wystarcza widzieć gaz rozżarzony, o którego analizę chodzi, więc nasuwa się myśl, iż ta sama metoda da się również zastosować do atmosfery słońca i jaśniejszych gwiazd stałych. Wymaga ona tu jednak modyfikacji wskutek światła, które wysyłają jądra tych ciał niebieskich. W rozprawie swej „O stosunku pomiędzy zdolnością emisyjną i absorbcyjną ciał dla ciepła i światła“ *) jeden z nas dowiódł zapomocą rozważań teoretycznych, że widmo gazu rozżarzonego zostaje odwrócone, t. j. że linie jasne przemieniają się

*) Kirchhoff (*uw. II*).

w ciemne, jeżeli za gazem umieścimy źródło światła o dostatecznej intensywności, które samo przez się daje widmo ciągłe. Daje się stąd wywnioskować, że widmo słoneczne ze swemi liniami ciemnymi nie jest niczem innym, jeno odwróceniem widma, któreby pokazała sama przez się atmosfera słońca. Podług powyższego analiza chemiczna atmosfery słońca wymaga tylko odszukania tych substancji, które, wprowadzone w płomień, ukazują jasne linie, zbiegające się z ciemnymi liniami widma słonecznego.

W cytowanym miejscu podane są następujące doświadczenia, jako dowody doświadczalne wspomnianego a teoretycznego wyprowadzonego twierdzenia.

Jasna linia czerwona w widmie płomienia gazowego, w który jest wprowadzona perła chlorku litowego, przemienia się w czarną, kiedy się przepuszcza przez płomień pełne światło słoneczne. Jeżeli zastąpić perlę chlorku litowego przez perlę chlorku sodowego, to w widmie słonecznym ukazuje się niezwykle wyraźnie ciemna linia podwójna *D* (która zbiega się z jasną linią sodu).

W widmie światła *Drummond'a* występuje ciemna linia podwójna *D*, kiedy się jego promienie przepuszcza przez płomień rozwodnionego alkoholu, w który wprowadzono chlorek sodu. *)

*) W numerze marcowym *Phil. Mag.* z roku 1860 przypomina *Stokes*, że *Foucault* już w roku 1849 dokonał spostrzeżenia, podobnego do wyżej wspomnianego. Przy badaniu łuku elektrycznego pomiędzy końcówkami węglowymi zauważył on (*l'Institut* 1849, str. 45), że w widmie tegoż znajdują się jasne linie na miejscu podwójnej linii *D* światła słonecznego i że łuk wzmacnia ciemną linię *D* lub też wytwarza ją, kiedy się przezeń przepuszcza światło słoneczne lub światło rozżarzonej końcówki węglowej, a—potem to światło rozszczepia w widmo. Spostrzeżenie, wspomniane w tekście, daje objaśnienie tego interesującego, już przed 11 laty przez *Foucault'a* dostrzeżonego zjawiska, i pokazuje, że zjawisko to nie jest uwarunkowane przez własności tak jeszcze zagadkowego pod wielu względami światła elektrycznego lecz — pochodzi od związku sodowego, który był zawarty w węglu i przez prąd był zamieniony na parę.

Wydawało się nam rzeczą interesującą otrzymać jeszcze więcej potwierdzeń tego godnego uwagi wyvodu teoretycznego. Udało się nam to zapomocą doświadczeń, które teraz opiszemy.

Rozżarzyliśmy w płomieniu gruby drut platynowy i doprowadziliśmy go zapomocą prądu elektrycznego prawie do punktu topnienia. Drut dał świetne widmo bez jakiegokolwiek śladu jasnych lub ciemnych linii. Kiedyśmy umieścili pomiędzy drutem a szparą przyrządu płomień bardzo rozwodnionego alkoholu, w którym była rozpuszczona sól kuchenna, to ciemna linia *D* ukazała się nader wyraźnie.

W widmie drutu platynowego, który został rozżarzony tylko zapomocą płomienia, można wywołać ciemną linię *D*, jeżeli trzymać przed nim probówkę, na dnie której umieszczono nieco amalgamatu sodowego i ten ogrzano aż do wrzenia. To doświadczenie jest dla tego ważne, iż pokazuje ono, że znacznie poniżej temperatury żaru wywiera para sodu swe działanie absorbcyjne dokładnie w tem samym miejscu widma, jak i w temperaturach najwyższych, które możemy wytworzyć, a zarówno w temperaturach, które mają miejsce w atmosferze słonecznej.

Autorom udało się również odwrócić jaśniejsze linie potasu, strontu, wapnia i baru.

UWAGI.

¹⁾ (Str. 327). Do metali alkalicznych zaliczany jest lit (*Li*), sól (*Na*), potas (*K*), rubid (*Rb*) i cez (*Cs*); do metali ziem alkalicznych należą: magnez (*Mg*), wapń (*Ca*), stront (*Sr*), bar (*Ba*).

²⁾ (Str. 327). Mowa tu oczywiście o palniku Bunsena.

³⁾ (Str. 327). Tablicę tę pominięto w „Wypisach“, gdyż można ją znaleźć w większości podręczników fizyki i chemii. (Ob. np. „Szkolę fizyki“ Oettingena w tłumaczeniu Smosarskiego, Warszawa 1912):

⁴⁾ (Str. 329). Konstrukcja tego pierwszego spektroskopu Kirchhoffa i Bunsena była nieco odmienna od obecnie używanej. Dziś zazwyczaj luneta jest ruchoma, a pryzmat nieruchomy; w tym pierwszym spektroskopie było przeciwnie. Oczywiście, że i w tym przypadku można go skalibrować.

O ciśnieniu światła.

Odkrycie ciśnienia światła należy do wielkich zdobyczy XX-go wieku w dziedzinie fizyki doświadczalnej. Dzieje zagadnienia znajdzie czytelnik w pracy Lebediewa na str. 341—343 zbioru niniejszego. Tu dajemy tylko pewne wiadomości o autorach prac, L. Boltzmann'ie i P. Lebediewie.

L. Boltzmann (1844—1906), umysł nawskroś samodzielny i oryginalny, był w Niemczech jednym z pierwszych zapalonych zwolenników teorii Maxwell'owskiej. Badania jego nad związkami pomiędzy współczynnikiem załamania a stałą dielektryczną gazów dały doniosłe potwierdzenie teorii Maxwell'owskiej. Praca ta, wykonana jeszcze przed słynnymi doświadczeniami Hertz'a, dała Boltzmann'owi zasłużony rozgłos, gdyż wykazał on w niej w równej mierze i talent eksperymentatorski i głęboki umysł teoretyka. Działalność naukowa Boltzmann'a dotyczyła przeważnie kinetycznej teorii gazów; w tej dziedzinie napisał on książkę, która do dziś jest najlepszym podręcznikiem: „Vorlesungen über Gas-theorie“ (Lipsk, przedruk w roku 1910). Znaczną część swego rozwoju zawdzięcza teorya kinetyczna Boltzmann'owi, który naogół był zapalonym atomistą.

Piotr Lebediew (1876—1912) kształcił się początkowo w Cesaarskiej Moskiewskiej Szkole Technicznej; przed jej ukończeniem wyjechał zagranicę i pracował u Kundt'a w Strasburgu, gdzie w roku 1891 uzyskał stopień doktorski. Powróciwszy do kraju, został asystentem wybitnego fizyka rosyjskiego Stoletowa. Od roku 1900 był profesorem Uniwersytetu Moskiewskiego, który opuścił na skutek zatargu na tle politycznym w r. 1911. Jego badania nad ciśnieniem światła cieszą się sławą wszechświatową.

O odkrytym przez P. Bartoli'ego stosunku pomiędzy ciepłem promienistym a drugą zasadą; przez Ludwika Boltzmann'a w Gracu. *)

Z okazji mego referatu o Eddy'ego „cieple promienistym, jako wyjątku z drugiego prawa termodynamiki,“ zwrócił łaskawie p. Prof. Wiedemann uwagę na interesującą rozprawę Bartoli'ego. Obok bardzo kompletnego przeglądu historii radiometru i własnych starannych spostrzeżeń na ten temat (z pomiędzy których szczególnie doniosłe znaczenie winnoby mieć studium, w jakich warunkach czułe wagi skręceń mogą być ochronione od zakłócającego wpływu sił radiometrycznych), zawiera ona dowód nowego związku pomiędzy ciepłem promienistym a drugą zasadą.

... Choć sobie jeszcze nie wyrobiłem zdania ostatecznego o tym przedmiocie, sądzę jednak, że mogę zakomunikować na tem miejscu niektóre rozważania, dotyczące tej materii, aby bądź samego P. Bartoli'ego, bądź innych fizyków pobudzić do dalszej dyskusji nad tym przedmiotem, który w każdym razie zdaje mi się zasługiwać na większą uwagę, niż mu jej dotychczas poświęcano.

Pan Bartoli wychodzi z faktu, że w przestrzeni, po-

*) Über eine von Hrn. Bartoli entdeckte Beziehung der Wärmestrahlung zum zweiten Hauptsatze; von Ludwig Boltzmann in Graz. Annalen der Physik und Chemie, 1884, t. 22, str. 31.

przez którą promieniuje ciepło, egzystuje mała, lecz skończona ilość energii w formie ciepła promienistego, która przez zmniejszenie przestrzeni może być przekazana ciału znajdującemu się w tej przestrzeni. Pomyślmy sobie, na przykład, jakieś cztery w sobie zamknięte powierzchnie A , B , C i D (fig. 54). *) B ma być całkowicie zawarta wewnątrz A , również C — wewnątrz B , D — wewnątrz C ; niech A i D będą doskonale czarne, B i C niech będą zzewnątrz i wewnątrz doskonałymi zwierciadłami, nieprzewodzącymi ciepła,

temperatura D niech będzie wyższa od temperatury A . Cała przestrzeń pomiędzy A i D ma być bezwzględną próżnią. Na początku czasu B ma mieć otwór — tak, że promienie powierzchni A przenikają całą przestrzeń pomiędzy B i C . Niech się teraz B zamknie, a w C jakimkolwiek sposobem powsta-

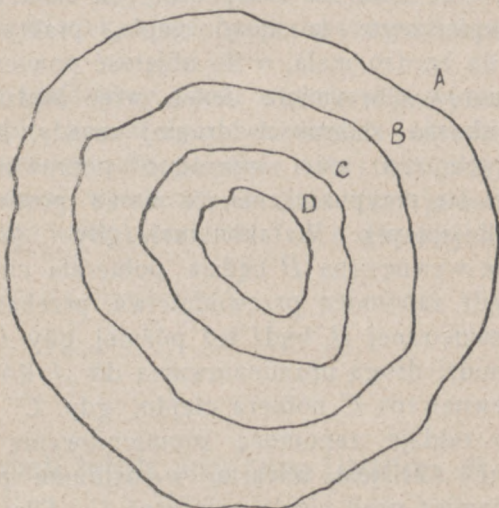


Fig. 54.

nie otwór; potem powierzchnia B zmniejsza się, póki przestrzeń, pozostająca pomiędzy nią a C , nie stanie się bardzo mała w porównaniu z przestrzenią, która pierwotnie była zawarta pomiędzy obydwiema powierzchniami. Przytem prawie całkowita energia, znajdująca się pomiędzy B i C w postaci promieniowania, jest przekazywana powierzchni D . Teraz znów zamyka się otwór powierzchni C , a otwór

*) Oryginał nie zawiera tego rysunku.

powierzchni B się otwiera. Wreszcie B przybiera dawną postać i wielkość. Zmniejszenie pojemności powierzchni B może zachodzić bądź przez składanie się doskonale giętkich powierzchni (analogicznie do rozciągania harmonijki), bądź przez wsuwanie się jednej w drugą rur pozbawionych tarcia (analogicznie do wyciąganych rur w lunetach). Podług wyobrażeń, dotychczas zazwyczaj w teorii ciepła stosowanych, dzięki naszkicowanemu procesowi, który może być powtarzany dowolnie często, pewna ilość ciepła mogłaby być przeniesiona bez kompensaty od ciała zimniejszego do ciała cieplejszego; ta ilość ciepła, praktycznie, jest co prawda bardzo mała, o ile objętość powierzchni B nie ma wymiarów olbrzymich. Jeżeli więc będziemy stali na punkcie widzenia słuszności drugiej zasady, to któreś z użytych wyobrażeń musi wymagać poprawki. Najprędzej nasuwa się przypuszczenie, że niema powierzchni bezwzględnie odbijających. W takim razie, gdy C jest otwarta, powierzchnia wewnętrzna B będzie pobierała ciepło od D ; ciepło to bądź zapomocą przewodnictwa przekazuje się powierzchni zewnętrznej B , bądź też później, gdy B jest otwarta, przechodzi drogą promieniowania do A . Również i powierzchnia zewnętrzna C pobiera ciepło, gdy C jest otwarta, i ciepło to oddaje zapomocą promieniowania powierzchni A , gdy znów B jest otwarta; w ostatnim przypadku przechodzi również prąd ciepła nawskroś C . Dlatego też wytwarzamy B i C z trzech warstw, z których dwie zewnętrzne możliwie dobrze odbijają promieniowanie, średnia zaś możliwie źle przewodzi ciepło. Zapomocą dostatecznego powiększenia objętości, przy nieziennej grubości warstw, można będzie zawsze sprawić teoretycznie, choć nie — praktycznie, że ciepło, pobierane przez powierzchnie B i C i napowrót oddawane, będzie małe porównaniu z ciepłem, zawartem pomiędzy B i C w postaci promieniowania, gdyż pierwsze jest proporcjonalne do powierzchni, a drugie — do objętości. Również i praca, stracona wskutek nieuchronnego tarcia wewnętrznego i zewnętrznego przy składaniu lub wsuwaniu się powierzchni B , a również przy zamykaniu

i otwieraniu otworów, jak również, na przykład, wyrównywanie się ciepła, możliwe przy tej ostatniej operacji, może być w tej samej mierze uczynione nieszkodliwem przez powiększenie objętości, przy niezmienniej grubości; w stanie, któryśmy nazwali otwartym, otwory mogą być również zamknięte zapomocą płytek z soli kamiennej. Zdaje mi się więc, że sprzeczność z drugą zasadą nie jest przez to usunięta; co prawda, prędkość kurczenia się powierzchni B nie powinna spadać poniżej pewnej granicy, gdyż inaczej ciepło, przechodzące drogą przewodnictwa przez B i C , wobec małej grubości ścianek, mogłoby przewyższyć ciepło otrzymane.

Zdaje mi się, że znajdziemy punkt wyjścia w przypuszczeniu, że samo ciepło promieniste bez udziału ośrodka, który je przekazuje, wywiera siłę na ciała. Bartoli przyjmuje, że promienie cieplne wywierają na ciała siły, podobnie, jak to obserwowano wielokrotnie w falach głosowych...

.....

Badania nad siłami ciśnienia światła; przez Piotra Lebediewa. *)

Zakładając podstawy swej elektromagnetycznej teorii światła, wziął też Maxwell (1873) pod uwagę i te siły, które występują jako siły ponderomotoryczne w ośrodku elektrycznie spolaryzowanym; jako wniosek z jego teorii wynika, że siły te muszą występować w wiązce światła, i Maxwell powiada:

„W środowisku, w którym rozchodzi się fala, w kierunku jej rozchodzenia się działa ciśnienie, które w każdym

*) Untersuchungen über die Druckkräfte des Lichtes; von Peter Lebedew. Annalen der Physik, 1901, t. 6, str. 433.

miejscu liczbowo jest równa energii, jaka się tam znajduje, odniesionej do jednostki objętości.“

.....

Na drodze zupełnie innej i, jak się zdaje, nie znając wyniku Maxwell'a, doszedł do tego samego wniosku Bartoli (1876): podaje on procesy kołowe, które mają pozwolić na przenoszenie energii zapomocą ruchomych zwierciadeł od ciała zimniejszego do cieplejszego, i oblicza pracę, która na podstawie drugiej zasady musi być w tym celu wykonana. Konieczność wykonania pracy przy przesunięciu zwierciadeł w kierunku przeciwnym kierunkowi promieniowania padającego zmusza do przyjęcia sił ciśnienia, które są wywierane przez to promieniowanie na zwierciadło. Bartoli obliczył wielkość tych sił ciśnienia, jego wynik zgadza się zupełnie z wynikiem, otrzymanym przez Maxwell'a.

.....

Kiedy wiązka promieni równoległych pada prostopadle na powierzchnię płaską, to wielkość tego ciśnienia Maxwell'a-Bartoli'ego jest wyznaczona, kiedy jest znana energia E , padająca w ciągu jednostki czasu, zdolność odbijania powierzchni ρ , i prędkość rozchodzenia się promieniowania V ; mamy wówczas:

$$p = \frac{E}{V} (1 + \rho),$$

gdzie ρ jest zawarte pomiędzy 0 dla ciała doskonale czarnej i 1 dla doskonałego zwierciadła.

Te siły ciśnienia są bardzo małe. Zarówno Maxwell jak i Bartoli obliczyli, że promienie słońca, padając prostopadle na 1 m. kw. wywierają ciśnienie, które dla powierzchni doskonale czarnej wynosi 0,4 mg. i dla zwierciadła płaskiego 0,8 mg. ¹⁾

Przypuszczenia, że takie siły ciśnienia muszą istnieć, były wypowiedziane znacznie wcześniej. Tak, na przykład, Kepler (1619) sądził, że źródła siły odpychającej, którą słońce wywiera na ogony komet, należy szukać w sile ciśnienia pro-

mieniowania, który to pogląd był zgodny z panującą teorią emisyjną światła i był gorliwie popierany przez Longomontanus'a (1622). Ten sam powód skłonił również Eulera (1746) do przypisania promieniowaniu słońca sił ciśnienia; próbował on uzasadnić konieczność tych sił ciśnienia, rozpatrując ruchy, wywołujące światło, jako drgania podłużne.

De-Mairan (1754) wraz z Du-Fay'em wykonali bardzo interesujące doświadczenia, aby sprawdzić eksperymentalnie te przypuszczenia, znaleźli jednak niebawem, że zakłócające ogrzewanie powietrza otaczającego nie pozwala wykazać z całą pewnością bezpośrednich sił ponderomotorycznych światła; jak na środki pomocnicze wieku XVIII, doświadczenia De-Mairan'a zasługują na podziw największy. Takie doświadczenie przedsięwziął był również Fresnel (1825) i podobnie napotkał te same trudności; szczegółowe badanie zjawisk tego rodzaju doprowadziło Crookes'a do wykrycia sił radiometrycznych. ²⁾

Zastosowania, jakie ciśnienie promieniowania Maxwell'a-Bartoli'ego może znaleźć zarówno w fizyce, jak i w astronomii, sprawiają, że eksperymentalne zbadanie tych sił wydaje się bezwarunkowo pożądanem, ponieważ wywody teoretyczne, wychodzące zarówno z idei Maxwell'a, jak i z poglądów Bartoli'ego, opierają się na pewnych prostych własnościach powierzchni pochłaniających i odbijających, i mogłoby się jeszcze wydawać wątpliwem, czy występujące ponderomotoryczne siły światła również są określone przez te tylko własności. Te kwestye mogą być rozstrzygnięte jedynie przez dalsze badania uzupełniające; najprościej przytem prowadzi do celu doświadczenie bezpośrednie.

Usiłowania, które czynili w tym kierunku Zöllner i Bartoli, nie dały żadnego wyniku pozytywnego; dlatego też przedsięwziąłem niżej podane badanie doświadczalne nad siłami ciśnienia światła.

II. Układ doświadczenia i przyrządy.

Przy prowadzeniu badań nad siłami ciśnienia światła Maxwell'a-Bartoli'ego stają na drodze dwie trudności:

zakłócenia wskutek konwekcji i występujące tu siły radiometryczne. Przy najwyższych rozrzedzeniach te siły zakłócające stają się małe, pomimo to jednak muszą być brane pod uwagę w pomiarach.

Zakłócenia przez konwekcyę powstają wskutek tego, że, przy ogrzaniu skrzydeł przez naświetlanie, przylegające warstwy gazu również ogrzewają się i wywołują powolny prąd wstępujący; jeżeli płaszczyzna skrzydła ma chociażby małe (niemal nieuniknione) nachylenie względem płaszczyzny pionowej, to wstępujący prąd gazu wywiera na skrzydło skręcenie, które jest zależne tylko od ogrzania, a nie od kierunku, w którym padają promienie. Zakłócenie może być wyeliminowane przez to, że promienie tego samego źródła skierowuje się naprzemian to na jedną, to na drugą stronę skrzydła.

Zakłócenie wskutek sił radiometrycznych zostało zredukowane do minimum tym sposobem, że wzięto balon możliwie duży ($D = 20$ cm. *); wszystkie promienie, które mogą być pochłonięte przez szklaną ściankę balonu, zostały usunięte zapomocą filtru świetlnego; skrzydła, gwoli lepszemu wyrównaniu ciepła, były sporządzone z cienkiej blachy metalowej, i oprócz tego ewakuacja zapomocą pompy rtęciowej przy zastosowaniu mieszaniny mrożącej została możliwie daleko posunięta.

Jeżeli siły radiometryczne są małe, to dotycząca ich poprawka może być obliczona w następujący sposób: siły radiometryczne są proporcjonalne do różnicy temperatur pomiędzy oświetloną a ciemną powierzchnią skrzydła, lub, dla dwu skrzydeł z tego samego materiału o jednakowym charakterze powierzchni, wprost proporcjonalne do ich grubości; wykonywując spostrzeżenia jednocześnie na dwu jednakowych skrzydłach o nader różnej grubości, możemy obliczyć, jak wielkie odchylenie wywołałoby światło, gdyby grubość skrzydła i zarazem siła radiometryczna były równe zeru. Chciałbym tu zaraz zauważyć, że należy zrobić

*) $D =$ średnicy (T)

tę poprawkę tylko dla skrzydełek platynowanych; przy skrzydełkach metalowych siły radiometryczne wbrew wszelkim oczekiwaniom były znikomo małe.

Zastosowany układ doświadczenia był następujący (fig. 55): obraz krateru lampy łukowej prądu stałego B (30 amp.) rzucano za pomocą kondensora C na diafragmę metalową D ($d=4$ mm.). Stożek świetlny, wychodzący z diafragmy, zamieniano za pomocą soczewki K na wiązkę promieni równoległych; w celu oswobodzenia światła od promieni podczerwonych, umieszczono za soczewką K naczynie szklane o ściankach płaskich i równoległych W *) z czystą wodą (grubość warstwy 1 cm.); w tym miejscu można było również wstawiać w bieg promieni szkło malinowo - czerwone, względnie zastąpić wodę amoniakalnym roztworem siarczanu miedzi. **) Na swej dalszej drodze wiązka świetlna doznawała odbicia od płaskich zwierciadeł szklanych S_1 , S_2 i S_3 ,

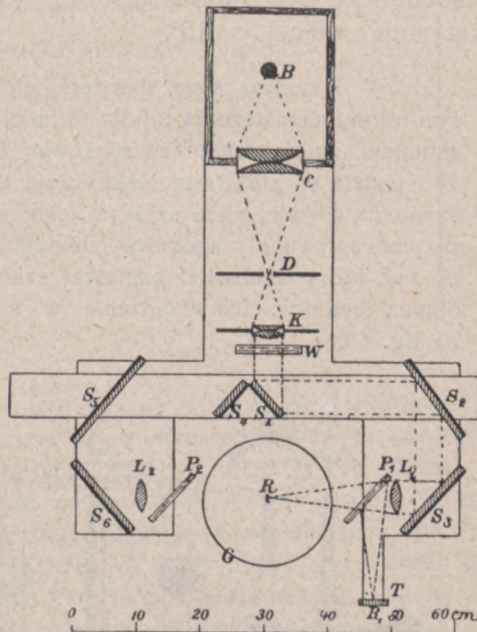


Fig. 55.

*) Tym sposobem usuwano wszystkie promienie podczerwone o $\lambda > 1,2\mu$; z drugiej strony soczewki szklane zatrzymują promienie nadfioletowe.

**) Przy czerwonym i niebieskim filtrze świetlnym energia rozporządzalna redukuje się do jakiejś piątej części energii światła białego; jest to dowód, że użyte promieniowanie należało prawie wyłącznie do dziedziny widzialnej.

mających warstwę odbijającą na swej powierzchni tylnej, a soczewka L zbierała promienie wewnątrz balonu szklanego w R , dając rzeczywisty powiększony obraz ($d=10$ mm.) diafragmy D ; kiedy przesuвано parę zwierciadeł S_1, S_2 , promienie przechodziły drogą analogiczną i padały z drugiej strony na skrzydła, wiszące w balonie szklanym R . Soczewki L_1 i L_2 miały po 20 cm. odległości ogniskowej i po 5 cm. swobodnego otworu; tak, że padający stożek świetlny miał kąt mniej więcej $= 15^\circ$.

W T umieszczono stos termoelektryczny, który służył do kontrolowania natężenia źródła światła. Mianowicie, mała część promieni, zbieranych przez soczewkę L_1 , odbijała się od szyby P i padała na stos termoelektryczny. Wewnątrz balonu R zawieszano na cienkiej nitce szklanej lekki wiatraczek. Jego skrzydełka przymocowywano zapomocą cieniutkich drucików platynowych do osi, którą stanowiła bagietka szklana. Skrzydełka miały po 5 mm. średnicy. Ich urządzenie w kilku przypadkach widzimy na fig. 56.

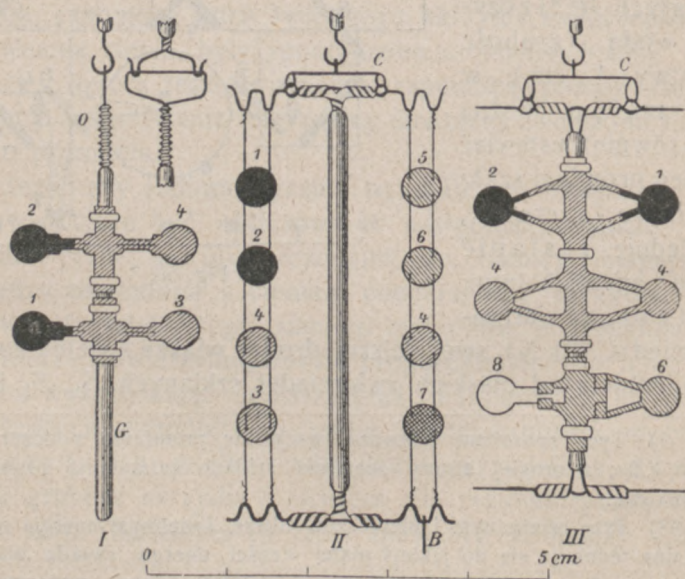


Fig. 56.

W poniższej tabelce wyjaśnione jest znaczenie cyfr, którymi blaszki są oznaczone.

Nr.	M A T E R Y A Ł
1	Platyna, grubo platynowana
2	" pięć razy cieńiej platynowana
3	" gładka, grubość = 0.10 mm.
4	" " " = 0.02 "
5	Glin, gładki " = 0.10 "
6	" " " = 0.02 "
7	Nikiel, gładki " = 0.02 "
8	Mika " < 0.01 "

Wewnątrz balonu wytwarzano próżnię, możliwie daleko posuniętą. Prężność cząstkową powietrza zredukowano przedewszystkiem do 0.001 mm. zapomocą pompy rtęciowej; te resztki powietrza usuwano jeszcze zapomocą ogrzewania zawartej w przyrządzie rtęci, przyczem rtęć, uchodząc w postaci pary, porywała za sobą cząsteczki powietrza. W przyrządzie pozostawała ostatecznie prawie wyłącznie para rtęci, której prężność zmniejszono przez oziębianie ścianki zapomocą mieszaniny lodu i soli.

Pomiary miały odpowiadać na dwa pytania: 1) czy istnieje ciśnienie światła, niezależnie od sił konwekcyi i sił radiometrycznych? 2) czy wielkość tego ciśnienia odpowiada przewidywaniom teorii Maxwell'a-Bartoli'ego, t. j. — czy ciśnienie równe jest energii, zawartej w cm.^3 przestrzeni, przez którą promienie przebiegają?

Opisane powyżej urządzenie eksperymentalne pozwoliło odpowiedzieć twierdząco na pytanie pierwsze. Kąt skręcenia skrzydełek pozwalał obliczyć siłę ciśnienia; siła ta w danym przypadku była rzędu $0,00004 \frac{\text{dyn.}}{\text{cm.}^2}$; zmieniała się w sposób przez teorię przewidziany wraz z naturą powierzchni naświetlanej.

Aby odpowiedzieć na pytanie drugie, mierzył Lebediew energię, dostarczaną przez promienie słoneczne małemu kalorymetrowi, który umieszczano w R (fig. 57) zamiast balonu szklanego.

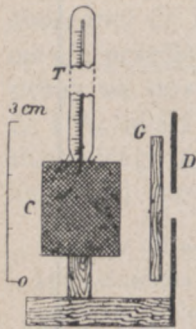


Fig. 57.

Kalorymetr składał się z bloczka miedzianego, w który wstawiono czuły termometr (podziałka na $\frac{1}{5}^{\circ} C$). Powierzchnia pochłaniająca była pokryta sadzami. Całkowita wartość wodna kalorymetru (fig. fig 57) wynosiła 5.13 gr.

Doświadczenie potwierdziło teorię Maxwell'a-Bartoli'ego. Różnica pomiędzy danymi spostrzeżeń a obliczeniami dochodziła wprawdzie do 20%, lecz trudność pomiarów dostatecznie tłómaczy te odchylenia. ³⁾

UWAGI.

¹⁾ (Str. 342). Podług nowszych danych co do wielkości stałej słonecznej, czyli ilości energii dostarczanej przez słońce 1 cm.² powierzchni, otrzymujemy na ciśnienie wartość nieco większą. Stała słoneczna = 2,54 kaloryom małym na minutę. Zakładając, że mechaniczny równoważnik kaloryi wielkiej = 427 Kg. m., znajdziemy, że

$$2,54 \text{ kal. gr.} = 2,54 \times 427 \times 10^3 \times 981 \text{ ergów.}$$

Tym sposobem E we wzorze na str. 342 =

$$= \frac{2,54 \times 427 \times 10^3 \times 981 \text{ erg.}}{60 \text{ sek.}}$$

Ta energia, padająca na cm.² w ciągu sekundy, biegła z prędkością

$$V = 3 \times 10^{10} \frac{\text{cm.}}{\text{sek.}}$$

a więc zajmowała objętość V cm.³ Stąd więc gęstość energii

$$\frac{E}{V} = \frac{2.54 \times 427 \times 10^2 \times 981}{60 \times 3 \times 10^{10}} \frac{\text{erg.}}{\text{cm.}} = 5,91 \times 10^{-5} \frac{\text{erg.}}{\text{cm.}^3}.$$

Tyleż dyn na centymetr kwadratowy ciała czarnego powinno wynosić podług Maxwell'a-Bartoli'ego ciśnienie energii promienistej słońca. Zaokrąglając liczby, powiemy, że to ciśnienie = 0,6 mgr. na metr. kwadratowy; w przypadku doskonałego zwierciadła ($\rho = 1$) wypadałoby liczbę tę podwoić.

²⁾ (Str. 343). W próżni dać daleko posuniętej występują pomiędzy powierzchniami o niejednakowej temperaturze siły wzajemnego przyciągania lub odpychania. Istnienie tych sił możemy wytłómaczyć jedynie z punktu widzenia teorii kinetycznej: od powierzchni cieplejszej odskakują cząsteczki z prędkością większą, niż od zimniejszej; temsamem powierzchnia cieplejsza będzie odpychana, co widzimy naprzykład w radiometrze Crookes'a.

²⁾ (Str. 348). Nichols i Hull (Ann. d. Physik 1903, t. 12, str. 225) zdołali osiągnąć daleko lepsze wyniki ilościowe; stwierdzili oni z dokładnością przewyższającą 1% zgodność ciśnienia obserwowanego z teorią Maxwell'a. Metoda tych autorów różniła się nieco od metody Lebediewa. I tu również posługiwano się rodzajem radiometru; dokonywano jednak obserwacji nie w próżni daleko posuniętej, lecz przy pewnym (16 mm. rt.) stosunkowo małym stopniu rozrzedzenia, kiedy, jak się przekonano zapomocą uprzednich doświadczeń, zakłócający wpływ powietrza redukuje się do minimum. (Bliższe wiadomości o tych i innych nowszych doświadczeniach, dotyczących ciśnienia światła, znaleźć można w artykule piszącego te słowa, umieszczonym w „Wektorze“, Warszawa, 1911).

O wpływie ruchu ciał na zjawiska świetlne.

W roku 1727 dokonał astronom angielski Bradley wiekopomnego odkrycia. Obserwując systematycznie pozycje gwiazd stałych, dostrzegł, iż posiadają one pewien ruch własny na sklepieniu niebieskim; ruch ten okazał się peryodycznym. Był on różny dla gwiazd różnych, zależnie od ich położenia względem ekliptyki, t. j. płaszczyzny, w której porusza się ziemia. Droga zakreślana jest wogóle eliptyczna; przechodzi ona w przypadkach szczególnych w kolistą i prostoliniową, przyczem okres ruchu odpowiada okresowi obiegu ziemi naokoło słońca. Mówią, że prosty traf naprowadził Bradley'a na szczęśliwą myśl, która pozwoliła mu wyjaśnić te zagadkowe ruchy gwiazd. Jadąc łódką, miał zwrócić uwagę na to, że chorągiewka ustawia się nie w kierunku wiatru, lecz w kierunku wypadkowej ruchu wiatru i ruchu łódki. Nasunęła mu się analogia. Światło przebiegające lunetę posiada prędkość własną, prócz tego jednak i luneta jest unoszona przez ziemię z jej prędkością. Ostateczny kierunek promieni musiał odpowiadać wypadkowej tych dwu ruchów. Promień światła doznaje pozornego przesunięcia, uwarunkowanego przez prędkość własną ziemi.

Rozpatrzmy rzecz bliżej na fig. 58. *) Wyobraźmy sobie promień $S_1 S_2$, który przechodziłby symetrycznie przez środek obiektywu S_1 i okularu S_2 , gdyby obydwie szkła były nieruchome. Na przebyciu przez światło drogi $S_1 S_2$ potrzebny jest pewien czas t . Oznaczając prędkość światła przez V , mamy $S_1 S_2 = Vt$. W ciągu czasu t przesunie się jednak, wskutek ruchu ziemi, i lu-

*) Punkty S_1 i S_1' zostały na rysunku nieco przesunięte; mają jednak oznaczać środek optyczny obiektywu w dwu jego położeniach.

neta. Przesunie się o $S_2 S_2' = vt$, gdzie v oznacza prędkość ziemi. Promień świetlny, jak widać z rysunku, upadnie na brzeg okularu. Obserwator szukać będzie źródła świetlnego na linii, łączącej środek optyczny obiektywu z punktem obrazu, S_2 . Będzie zatem sądził że promienie tworzą z osią, optyczną przyrządu kąt α . Ten kąt α można wyznaczyć z $\triangle S_2 S_1' S_2'$;

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{S_2 S_2'}{S_1' S_2'} = \frac{vt}{Vt} = \frac{v}{V};$$

Podług nowszych spostrzeżeń $\alpha = 20''{,}5$; ze względu na jego małą wartość liczbowa, można wziąć zamiast stycznej sam kąt, wyrażony w radianach; podstawiając w równanie powyższe prędkość ziemi w jej ruchu naokoło słońca otrzymamy prędkość światła

$$V = 299900 \frac{\text{Km.}}{\text{sek.}},$$

co się doskonale zgadza z bezpośrednimi pomiarami ziemskimi.

Odkrycie tego zjawiska, które nazwano aberracją gwiazd stałych, było punktem wyjścia dla dalszych badań nad wpływem ruchu ciał na zjawiska optyczne. Te badania należą już do wieku XIX. Czyniono wiele prób, aby wykazać wpływ ruchu ciał na zjawiska bądź załamania, bądź interferencji, bądź załamania podwójnego lub też skręcania płaszczyzny polaryzacji. Próby te były bezskuteczne. Wynik dodatni dało tylko doświadczenie Fizeau w r. 1851, które czytelnik znajdzie poniżej w tłumaczeniu z oryginału. Wyniki tego doświadczenia nasuwały bądź co bądź pewne wątpliwości; zresztą błędy spostrzeżeń Fizeau dochodziły do kilkunastu procent. Aby usunąć wszelką pod tym względem wątpliwość, powtórzył je w roku 1886 genialny eksperymentator

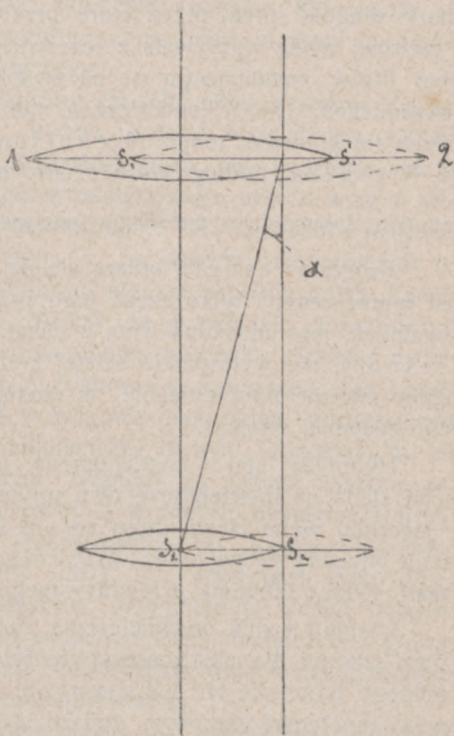


Fig. 58.

A. A. Michelson przy współpracownictwie E. W. Morley'a. Chodziło w danym przypadku o interferencję dwu promieni, które przebiegają przez rurki napełnione wodą. Przy szybkim biegu wody prążki interferencyjne przesuwają się; woda unosi fale eteru. W doświadczeniach Michelson'a przyrząd miał zaiste imponujące rozmiary: długość rurek, przez które przebiegały promienie, wynosiła 6 metrów; woda wypływała z rezerwuaru o pojemności kilku tysięcy litrów, znajdującego się na wysokości 23 metrów ponad salą doświadczeń. Błędy spostrzeżeń nie przekraczały 1%, i w granicach tej ścisłości mógł Michelson stwierdzić słuszność teorii Fresnel'a, podług której ciało o prędkości v i o współczynniku załamania n unosi fale świetlne z prędkością $v(1 - \frac{1}{n^2})$.

Teoria Fresnel'a opiera się na wyobrażeniu o tem, że eter jest nieruchomy, i tylko część jego, przylegająca do cząsteczek materialnych, jest unoszona wraz z niemi. Uzasadnienie, dane przez Fresnel'a, nie wytrzymuje ściślej krytyki. Wzór Fresnel'a, znajdujący świetne potwierdzenie w doświadczeniu, należy uważać za twór genialnej intuicji.

Hypoteza eteru nieruchomego pozwala przewidzieć wpływ ruchu ziemi na interferencję dwu promieni, z których jeden biegnie w kierunku ruchu ziemi, drugi zaś—w kierunku południka. Doświadczenie przedsięwzięte przez Michelson'a (ob. str. 360) nie wykazało jednak istnienia przewidywanego zjawiska.

Ujemny wynik doświadczenia Michelson'a stanowi prawdziwy szkopuł dla elektronowej teorii światła, rozwiniętej przez wielkiego teoretyka H. A. Lorentz'a. Teoria Lorentz'a tłumaczy w zupełności aberrację gwiazd stałych i unoszenie fal świetlnych w doświadczeniu Fizeau. Zauważymy, nawiasem, że tłumaczenie aberracji, oparte na wyobrażeniu o bezwładności światła, zwykle spotykane w podręcznikach astronomii i przez nas powyżej podane (ob. str. 351), kwestyi nie wyczerpuje. Albowiem, gdyby ta teoria była słuszna, to w lunecie napełnionej wodą kąt aberracji winienby być większy (podług teorii falowej), niż w lunecie zwykłej. Doświadczenia astronoma angielskiego Airy'ego, wykonane w połowie wieku XIX, pokazały jednak, że kąt aberracji nie zmienia się w tym przypadku... Teoria elektromagnetyczna Lorentz'a w zupełności zdaje sprawę z tego faktu. Również ściśle tłumaczy ona doświadczenie Fizeau.

Brak przewidywanego przesunięcia prążków w doświadczeniu

Michelson'a zmusza Lorentz'a do postawienia nowej hipotezy; przypuszcza on mianowicie, że przesunięcie prążków dla tego jest niedostrzegalne, że ciała doznają odpowiedniego skrócenia w kierunku swego ruchu. Tego skrócenia nigdy nie będziemy mogli stwierdzić doświadczalnie, gdyż i wszelka miara, położona w kierunku ruchu układu, tegoż skrócenia doznaje. Sztuczność tej hipotezy, specjalnie w celu wyłómaczenia doświadczenia Michelson'a stworzonej, rzuca się w oczy.

W zupełnie nowy, oryginalny sposób umiał oświetlić tę samą kwestyę A. Einstein, twórca zasady względności (1905). Podług niego nigdy żadnem doświadczeniem nie będziemy mogli stwierdzić ruchu jednostajnego prostoliniowego układu, wraz z którym sami się poruszamy. Niepowodzenie Michelson'a jest, podług Einstein'a, tylko jednym z przykładów zastosowania tej zasady ogólnej. Zasada względności nie jest zupełnie nowa. Znamy ją już oddawna w mechanice. Wiemy, że w układzie, poruszającym się ruchem jednostajnym prostoliniowym, wszystkie zjawiska zachodzą tak, jak gdyby układ ten pozostawał w spoczynku. Tak obserwator, któryby się znajdował w wagonie bez okien, poruszającym się po zupełnie prostym i gładkim torze ruchem jednostajnym, nie umiałby stwierdzić swego ruchu. Dopiero na jakimś zakręcie poczułby go, dzięki sile odśrodkowej. I w innych dziedzinach fizyki mamy interesujące przykłady zastosowania tej zasady. Wiadomo například, że prąd indukcyjny może być wywołany tylko przez przesunięcie magnesu względem przewodnika. Jeżeli magnes i przewodnik nie poruszają się względem siebie, to najczulszy galwanometr nie wykaże prądu, choć jednocześnie ciała te dzięki ruchowi ziemi poruszają się z olbrzymią prędkością.

Rozciągnięcie zasady względności na całokształt zjawisk fizycznych prowadzi do nieoczekiwanych wniosków o charakterze zgoła wyrotowym. Pod tym względem przewyższa zasada względności wszystkie inne teorie fizyki spóczesnej. W pierwszym rzędzie wymaga ona zmiany zupełnej w pojmowaniu czasu. Nie wchodząc w szczegóły, łatwo zrozumiemy, o co chodzi w zasadzie. Wyobraźmy sobie w przestrzeni układ nieruchomy i obserwatorów, którzy mierzą czas bezwzględny; ten ostatni, jak to sobie wyobrażał Newton, płynie jednostajnie od $-\infty$ do $+\infty$. Obserwatorowie ci stwierdziliby, że światło biegnie z prędkością

$$3 \times 10^{\frac{10cm.}{sek.}}$$

Pomyślmy sobie dalej układ, umieszczony obok tego układu nieruchomego i poruszający się ruchem jednostajnym. Obserwatorowie, związani z nim, gdyby mieli zegary, wyregulowane podług czasu bezwzględnego, otrzymaliby na prędkość światła liczbę mniejszą od $3 \times 10^{10} \frac{\text{cm.}}{\text{sek.}}$, gdyż sygnał świetlny, wysłany w kierunku ruchu z A do B , musiałby doganiać punkt B , któryby się odeń wciąż oddalał; inaczej mówiąc, światło biegłoby od A do B dłużej, a więc — z prędkością mniejszą. To jednak byłoby sprzeczne z zasadą Einstein'a, która żąda, by prędkość światła była ta sama we wszystkich układach, bez względu na ich ruch jednostajny prostoliniowy. Jako jedyny punkt wyjścia pozostaje wniosek, iż w układzie ruchomym czas powinienby być mierzony inaczej, niż w układzie nieruchomym.

Odrzucając w dalszym biegu rozumowania pojęcie czasu bezwzględnego, przeprowadza też Einstein niezmiernie przenikliwą krytykę pojęcia czasu wogóle. Pod tym względem badania jego mają niemałą doniosłość z punktu widzenia filozoficznego.

Zasada względności prowadzi jednak i do pewnych wniosków tak paradoksalnych, że wielu poważnym uczonym współczesnym wydaje się niemożliwą do przyjęcia. W tej sprawie daleką jest jeszcze nauka od zgody powszechnej.

O hipotezach, dotyczących eteru świetlnego, i o doświadczeniu, które zdaje się dowodzić, że ruch ciał zmienia prędkość, z jaką światło rozchodzi się wewnątrz nich. Przez P. H. Fizeau. *)

Przedstawiona Akademii Nauk na jej posiedzeniu z dnia 29 września 1851.

Aby zdać sprawę ze zjawiska aberracyi w systemacie falowym, proponowano kilka teoryi. Z początku Fresnel, a w nowszych czasach P.P. Doppler, Stokes, Challis i wielu innych ogłosili na ten temat ważne prace; lecz nie wydaje się, aby jakakolwiek z teoryi proponowanych uzyskała zupełną zgodę fizyków. W braku określonych pojęć o własnościach eteru świetlnego i jego związku z materią ważką, należało czynić hipotezy; pomiędzy temi, które były proponowane, są mniej lub więcej prawdopodobne, lecz niema żadnej, któraby mogła być uważana za doowiedzianą.

Te hipotezy mogą być sprowadzone do trzech głównych i dotyczą stanu, w jakim należy sobie wyobrażać eter, znajdujący się wewnątrz ciała przezroczystego.

Eter bądź przywiera do molekuł ciała i jest z nimi jakby

*) Sur les hypothèses relatives à l'éther lumineux et sur une expérience, qui paraît démontrer que le mouvement des corps change la vitesse avec laquelle la lumière se propage dans leur intérieur; Par M. H. Fizeau. Annales de Chimie et de Physique, s. 3, t. 57, 1859, str. 385.

związany na stałe, a zatem bierze udział w ruchach, które temu ciału mogą być nadawane.

Bądź też eter jest swobodny i niezależny i nie jest unoszony przez ciało podczas ruchów jego.

Lub wreszcie, w myśl trzeciego przypuszczenia, które zawiera w sobie część drugiego i pierwszego, tylko część eteru miałyby być swobodna; druga część byłaby trwale związana z cząsteczkami ciała, i tylko ona brałaby udział w ruchach jego.

Ta ostatnia hipoteza, którą zawdzięczamy Fresnel'owi, była przezeń stworzona w celu uczynienia zadość tak zjawisku aberracji, jak i słynnemu doświadczeniu P. A r a g o ¹⁾, zapomocą którego zostało dowiedzione, że ruch ziemi niema wpływu na wielkość załamania, którego światło gwiazd doznaje w pryzmacie. Dwa te zjawiska dawały się wytłómaczyć tym sposobem z zadziwiającą ścisłością; lecz bądź, że mechaniczna koncepcya Fresnel'a wydała się zbyt niezwykłą, aby ją przyjąć bez dowodów bardziej bezpośrednich, bądź że wydało się możliwem zadośćuczynić zjawiskom obserwowanym również zapomocą jednej z dwu innych hipotez, bądź, wreszcie, iż pewne wnioski z teoryi tej, jak myśleli niektórzy fizycy, wydały się sprzeczne z doświadczeniem, w każdym razie pewnem jest, że na hipotezę Fresnel'a nie patrzy się dziś, jak na prawdę dowiedzioną, i że związek pomiędzy eterem a materją ważką jest uważany powszechnie za rzecz niepewną i nader ciemną.

Następujące rozważania skierowały mnie do przedsięwzięcia doświadczenia, którego wynik powinien, zdaje się, oświetlić tę kwestyę.

Można zaznaczyć, że, o ile założymy ruch ciała, to w przypadku każdej z trzech hipotez, które przytoczyliśmy dopiero co, prędkość, z jaką światło przechodzi przez dane ciało, będzie mogła stać się różną od prędkości w stanie spoczynku, i dla każdej hipotezy wpływ ruchu na prędkość światła będzie inny.

Tak, w założeniu, że eterowi wraz z ciałem nadawany jest ruch tego ostatniego, trzeba będzie powiększyć prędkość

światła o całkowitą prędkość ciała, przypuszczając, że promień ma kierunek ruchu. Jeżeli przypuścimy, że eter jest swobodny, to prędkość światła wcale nie dozna zmiany.

Wreszcie, jeżeli jest unoszona tylko część eteru, to prędkość światła powiększy się, lecz tylko o ułamek prędkości ciała, a nie — o prędkość całkowitą, jak w hipotezie pierwszej. Ten wniosek nie jest równie oczywisty, jak dwa poprzednie; lecz Fresnel wykazał, że może on być oparty na rozważaniach mechanicznych nader prawdopodobnych.

.....

Prawda, że w stosunku do tych prędkości, które możemy nadać ciałom, światło rozchodzi się z prędkością tak wielką, że zmiana jej, która może mieć miejsce dla światła, jest wogóle zbyt słaba, aby mogła być obserwowana. Jednak wydało mi się możliwem, przez zespolenie okoliczności najbardziej sprzyjających, poddać próbie decydującej dwa ośrodki: powietrze i wodę, które, wskutek ruchliwości swych części, łatwo mogą być wprawione w szybki ruch.

P. Arago zawdzięczamy metodę obserwacji, opartą na interferencji, która zdolna jest wykazać najmniejsze zmiany w współczynnikach załamania ciał. ²⁾ P.P. Arago i Fresnel wykazali nadzwyczajną czułość tego sposobu zapomocą wielu spostrzeżeń nader subtelnych, do jakich należało np. wykazanie różnicy w załamaniu, która istnieje pomiędzy powietrzem suchem a wilgotnem.

Sposób obserwacji, oparty na tej zasadzie, wydał mi się jedynym, który pozwala wykazać zmiany prędkości, wynikające z ruchu. Metoda polega na wytworzeniu prążków interferencyjnych zapomocą dwu promieni światła po ich przejściu przez dwie rurki równoległe, przez które może przepływać powietrze lub woda z wielką prędkością w kierunkach przeciwnych. Specyalny cel, który zamierzałem osiągnąć, czynił koniecznem zastosowanie kilku urządzeń nowych, które podam niezwłocznie.

.....

W rozprawie oryginalnej podany jest opis bez dołączenia rysunku. Zdawało się jednak, że odpowiedni szkic ułatwi czytelnikowi zrozumienie doświadczenia; kierując się tym względem, podaliśmy w uwagach opis objaśniony figurą. ³⁾

Ponieważ długość rur, wynosząca 1.487 m., była dość znaczna, przeto można było obawiać się, że jakaś różnica temperatury lub ciśnienia pomiędzy dwiema rurami da początek znacznemu przesunięciu prążków, które mogłoby zupełnie zamaskować przesunięcie spowodowane przez ruch.

Uniknięto tej trudności, skierowując obydwie promienie z powrotem ku rurom zapomocą lunety, mającej zwierciadło w swym ognisku. Tym sposobem każdy promień jest zmuszony do kolejnego przechodzenia przez dwie rurki; skutkiem tego wpływ różnicy ciśnienia lub temperatury jest z konieczności skompensowany, albowiem dwa promienie przechodzą dokładnie tę samą drogę, lecz—w kierunkach przeciwnych. Upewniłem się wieloma próbami, że kompensacja rzeczywiście jest kompletna i że, jakkolwiek się zmienia gęstość lub temperatura ośrodka w jednej z rur, prążki zachowują dokładnie tę samą pozycję. Przy tem urządzeniu powinno się być obserwować prążki w samym punkcie wyjścia promieni; światło słoneczne puszczano z boku i skierowywano ku rurkom zapomocą odbicia od zwierciadła przezroczystego; po przejściu przez rurki w tę i tamtą stronę promienie powracały i interferowały nieco za zwierciadłem, przez które przechodziły; tam obserwowano prążki zapomocą okularu z podziałkami.

Podwojenie drogi promieni miało i tę przewagę, że powiększało prawdopodobny skutek ruchu; tak więc skutek ten miał być taki, jak gdyby rurki posiadały podwójną długość.

Dalej następuje opis urządzenia, które pozwalało autorowi wprawiać ciecz w ruch o znacznej prędkości. Przepędzano wodę przez rurki z jednej butelki do drugiej zapomocą ściśniętego powietrza (2 atmosfery); prędkość wody przewyższała w niektórych doświadczeniach $7 \frac{m.}{sek.}$

Stwierdzono, że ruch powietrza nie wywołuje żadnego widocznego przesunięcia prążków. ⁴⁾...

W przypadku wody przesunięcie jest wyraźne.

Prążki przesuwały się w prawo, kiedy się wodę pędzi w kierunku od obserwatora w rurce, umieszczonej po jego prawej stronie, i—ku obserwatorowi w rurce, umieszczonej po jego stronie lewej.

Prążki przesuwały się wlewo, kiedy kierunek prądu w każdej rurce jest przeciwny kierunkowi, któryśmy właśnie określili.

Podczas ruchu wody prążki pozostają bardzo wyraźne, poruszają się względem siebie równolegle i bez najmniejszego zakłócenia o wielkość proporcjonalną do prędkości wody. Przy prędkości = 2 metrom na sekundę przesunięcie jest już bardzo wyraźne, przy prędkościach 4 i 7 metrów daje się doskonale zmierzyć.

Szereg pomiarów, wykonanych przy prędkości przeważnie równej $7 \frac{m.}{sek.}$, dał autorowi jako przeciętną wartość przesunięcia 0,23 szerokości prążka całkowitego, przyczem odchylenia od średniej dochodziły do 20%. Obliczenie, oparte na przypuszczeniu o eterze zupełnie nieruchomym, daje na przesunięcie 0,46 prążka; Fresnel'a teoria częściowego unoszenia fal świetlnych prowadzi do 0,20 prążka. Różnica pomiędzy danymi obliczenia i spostrzeżenia jest nieznaczna. Tłómaczy ją, prócz błędów obserwacyi, i ta okoliczność, że w obliczeniu brano przeciętną prędkość wody, przypuszczając, że prędkość ta jest w całym przekroju jednakowa; tymczasem, przy przepływie przez rury, prędkość w części centralnej jest zawsze większa, niż przy ściankach, wobec czego obliczenie musi prowadzić do zbyt małej wartości przesunięcia. W doświadczeniach z przepływem powietrza nie zauważono najmniejszego przesunięcia prążków nawet przy prędkości = $25 \frac{m.}{sek.}$ (Ob. uwagę 4 na str. 377).

O ruchu względnym ziemi i eteru światłonośnego;
przez Alberta A. Michelson'a i Edwarda W. Morley'a. *)

Po odkryciu aberracji ⁵⁾ światła nastąpiło wkrótce jej wyjaśnienie zgodne z teorią emisyjną. Przypisano zjawisko prostemu składaniu się prędkości światła z prędkością ziemi na jej orbicie. Nie dostrzegano trudności tego napozór dostatecznego tłumaczenia, dopóki nie zaproponowano później tłumaczenia opartego na teorii falowej światła. To nowe tłumaczenie było z początku prawie równie proste, jak i dawne. Lecz nie było w stanie zdać sprawy z faktu do-
wiedzonego doświadczalnie, że aberracja nie zmienia się, kiedy się wykonywa spostrzeżenia zapomocą teleskopu napełnionego wodą. ⁶⁾ Albowiem, jeżeli styczna kąta aberracji jest stosunkiem prędkości ziemi do prędkości światła, to aberracja, obserwowana zapomocą teleskopu napełnionego wodą, powinna się równać czterem trzecim jej wartości prawdziwej, gdyż prędkość światła w wodzie wynosi trzy czwarte jego prędkości w próżni. **)

*) On the relative motion of the earth and the luminiferous ether; y Albert A. Michelson and Edward W. Morley. The American Journal of Science r. 1887, t. 34, str. 333.

**) Warto zaznaczyć, że większa część pisarzy przyjmuje dostateczność wyjaśnienia zgodnego z teorią emisyjną światła, w rzeczywistości jednak trudność jest większa nawet, niż w teorii falowej, gdyż

Na podstawie teorii falowej przypuszcza się, idąc za Fresnel'em, po pierwsze, że eter jest w spoczynku z wyjątkiem wnętrza ośrodków przezroczystych, w których, jak się przypuszcza po drugie, porusza się on z prędkością mniejszą od prędkości ośrodka w stosunku $\frac{n^2-1}{n^2}$, gdzie n jest współczynnikiem załamania. Te dwie hipotezy dają zupełne i zadawalające wytłómaczenie aberracyi. Hipoteza druga, nie bacząc na jej pozorne nieprawdopodobieństwo, musi być uważana za całkowicie dowiedzioną: po pierwsze przez słynne doświadczenie Fizeau, ⁷⁾ powtórę przez zupełne potwierdzenie, którego dostarczyła nasza własna praca. ⁸⁾ Poddanie próbie doświadczenia pierwszej hipotezy stanowi przedmiot niniejszej rozprawy.

Gdyby ziemia była ciałem przezroczystem, to, być może, zważywszy dopiero co przytoczone doświadczenia, możnaby się zgodzić, że eter międzycząsteczkowy jest w spoczynku, pomimo ruchu ziemi po jej orbicie; lecz nie mamy prawa rozciągać wniosku z doświadczeń tych na ciała nieprzezroczyste. Trudno jednak kwestyonować, że eter może przechodzić przez metale i że przechodzi przez nie. Lorentz przytacza, jako ilustracyę, rurkę barometryczną metalową. Kiedy rurka jest nachylona, eter w przestrzeni ponad rtęcią z pewnością musi uchodzić, gdyż jest nieściśliwy. ^{*}) Lecz nie mamy znów prawa przypuszczać, że się on wymyka zupełnie swobodnie, i, gdyby istniał opór jakikolwiek, choć słaby, to z pewnością nie moglibyśmy przypuszczać, że ciała nieprzezroczyste takie, jak ziemia cała, dają swobodne przejście przez swą masę. Lecz Lorentz czyni trafną uwagę:

podług teorii emisyjnej prędkość światła ma być większa w teleskopie napełnionym wodą i kąt aberracyi powinienby być mniejszy. Aby więc zredukować go do jego wartości prawdziwej, musielibyśmy postawić bezsensowną hipotezę, że ruch wody w teleskopie przenosi promienie światła w kierunku względem niego przeciwnym.

^{*}) Możnaby zarzucić, że on może uchodzić przez odstęp pomiędzy rtęcią i ściankami; lecz możnaby zapobiedz temu, amalgamując ścianki.

jakkolwiek rzecz się ma, dobrze zrobimy, zdaniem mojem, jeżeli w kwestyi tak ważnej nie damy się kierować rozważaniem o stopniu prawdopodobieństwa lub prostoty tej lub innej hipotezy, lecz zwrócimy się do doświadczenia, aby poznać stan spoczynku lub ruchu, w którym znajduje się eter na powierzchni ziemi.

W kwietniu 1881 zaproponowałem i urzeczywistniłem metodę doświadczalnego zbadania zagadnienia.⁹⁾

Przy wywodzie wzoru dla wielkości, która miała być mierzona, nie zauważono wpływu ruchu ziemi w eterze na drogę promienia, biegnącego pod kątem prostym do kierunku tego ruchu. Dyskusya wpływu tej okoliczności pominiętej i dyskusya całego wogóle doświadczenia stanowi przedmiot głęboko badawczej analizy H. A. L o r e n t z'a, *) który znajduje, że to działanie pod żadnym pozorem nie może być pominięte. W rezultacie wielkość, która miała być mierzona, posiadała w rzeczywistości tylko połowę wartości, którą się jej przypisywało, a ponieważ była już poza granicami błędów doświadczenia, więc i wniosek, wyciągnięty z wyników doświadczeń, słusznie mógłby być kwestyonowany; ponieważ jednak główna część teorii pozostaje niezakwestyonowana, zdecydowano się na powtórzenie doświadczenia z takimi modyfikacyami, ktoreby zapewniły wynik teoretycznie dość wielki, iżby go nie mogły zamaskować błędy doświadczenia. Teoryę tej metody można krótko ująć w sposób następujący.

Niech *sa* na fig. 59(1) oznacza promień światła, który po części jest odbity w kierunku *ab*, po części zaś przepuszczony w stronę *ac*; zwierciadła *b* i *c* skierowują go napowrót wzdłuż *ba* i *ca*; *ba* jest częściowo przepuszczany wzdłuż *ad* i *ca* jest częściowo odbity wzdłuż *ad*. Jeżeli więc drogi *ab* i *ac* są równe, dwa promienie interferują wzdłuż *ad*. Przypuśćmy teraz, że cały aparat porusza się w kierunku *sc* z prędkością ziemi na jej orbicie, przyczem eter pozostaje w spoczynku; wówczas kierunki i odległości, przebywane

*) De l'influence du mouvement de la terre sur les phen. lum. Archives Néerlandaises, XXI, 2-me livre, 1886.

przez promienie, będą zmienione w sposób następujący. Promień sa zostaje odbity wzdłuż ab , fig. 59(2); kąt $ba b_1$ jest równy kątowi aberracji α , i promień wraca wzdłuż ba_1 ($aba_1 = 2\alpha$) i biegnie do ogniska teleskopu, którego kieru-

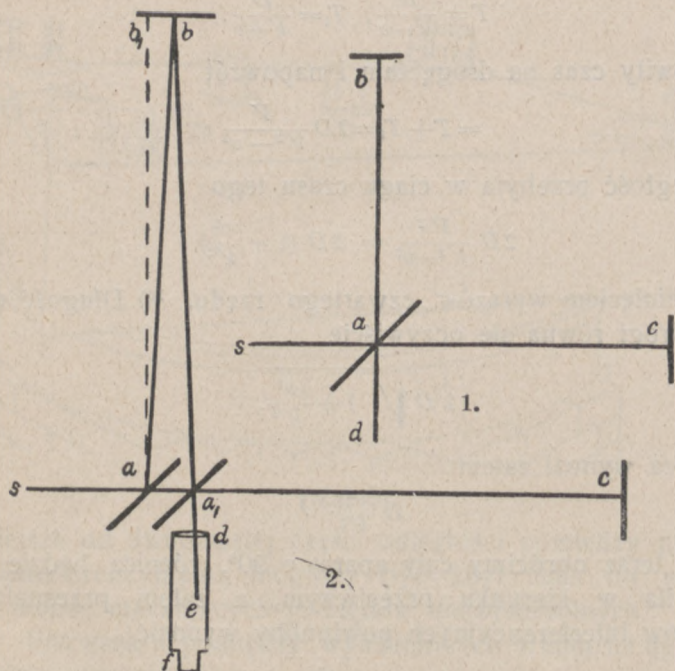


Fig. 59.

nek jest niezmienny. Promień przepuszczony biegnie wzdłuż ac , wraca wzdłuż ca_1 i doznaje odbicia w a_1 , tworząc kąt $ca_1e = 90^\circ - \alpha$, a więc — zbiegając się z promieniem pierwszym. Należy zaznaczyć, że promienie ba i ca_1 nie spotykają się już teraz dokładnie w tym samym punkcie a_1 , choć różnica jest drugiego rzędu; nie osłabia to mocy rozumowania. Przypuśćmy, iż należy znaleźć różnicę dróg aba_1 i aca_1 .

Niech V = prędkości światła.

v = prędkości ziemi na jej orbicie.

D = odległości ab lub ac , fig. 59.

T = czasowi, który światło zużywa, aby przejść od a do c .

T_1 = czasowi, który światło zużywa, aby powrócić z c do a_1 (fig. 59). Wówczas

$$T = \frac{D}{V-v}, \quad T_1 = \frac{D}{V+v}.$$

Całkowity czas na drogę tam i napowrót

$$= T + T_1 = 2D \frac{V}{V^2 - v^2}$$

i odległość przebyta w ciągu czasu tego

$$2D \frac{V^2}{V^2 - v^2} = 2D \left(1 + \frac{v^2}{V^2}\right),$$

z pominięciem wyrazów czwartego rzędu. ¹⁰⁾ Długość druj drogi równa się oczywiście

$$2D \sqrt{1 + \frac{v^2}{V^2}}.$$

Różnica wynosi zatem

$$D \frac{v^2}{V^2} \cdot 11)$$

Jeżeli teraz obrócimy cały aparat o 90° , różnica będzie zachodziła w kierunku przeciwnym, a zatem przesunięcie prążków interferencyjnych powinnyby wynosić

$$2D \frac{v^2}{V^2}.$$

Jeżeli uwzględnimy tylko prędkość ziemi na jej orbicie, *) wyrażenie to wyniesie $2D \times 10^{-8}$. Gdyby, jak to zachodziło w przypadku doświadczenia pierwszego, $D = 2 \times 10^6$ fal światła żółtego, to przesunięcie oczekiwane wynosiłoby 0,04 odległości pomiędzy prążkami interferencyjnymi.

W doświadczeniu pierwszym jedną z największych trudności, które napotkano, była trudność obracania przyrządu bez wytwarzania skręcenia; drugą trudność stanowiła nad-

*) Przeciętna prędkość ziemi w jej biegu po orbicie = $30 \frac{\text{km.}}{\text{sek.}}$
(przyj. tl.).

zwyczajna wrażliwość przyrządu na drgania. Była ona tak wielka, że, pracując w mieście, nawet o drugiej rano, można było widzieć prążki interferencyjne tylko na krótki przeciąg czasu. Ostatecznie, jakeśmy zauważyli poprzednio, wielkość, która miała być obserwowana, mianowicie przesunięcie nieco

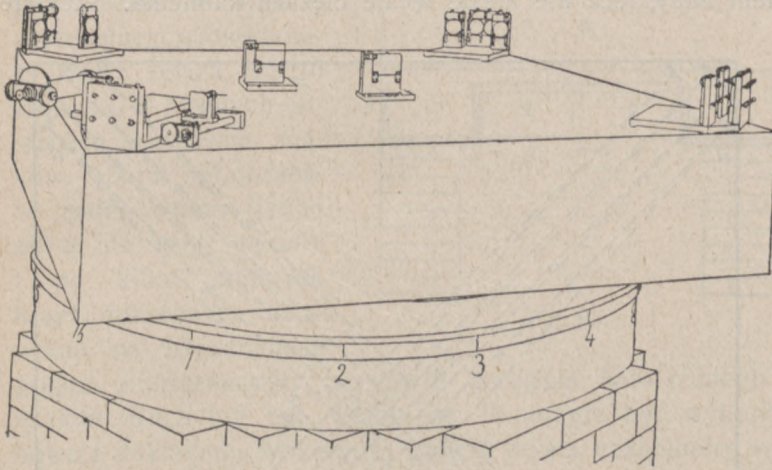


Fig. 60.

mniejsze od dwudziestej części odległości pomiędzy prążkami interferencyjnymi, mogłoby być zbyt małe do wykrycia, wobec maskujących je błędów doświadczalnych.

Pierwsza z pomiędzy wymienionych trudności była całkowicie przezwyciężona przez zmontowanie przyrządu na masywnym kamieniu, pływającym na rtęci; druga — przez powiększenie drogi światła zapomocą odbicia wielokrotnego, dzięki któremu długość drogi stała się niemal dziesięć razy większa od wartości pierwotnej.

Przyrząd jest przedstawiony w perespektywie na fig. 60, w rzucie poziomym na fig. 61 i w przekroju pionowym na fig. 62. Kamień *a* ma około 1.5 metra w kwadracie i jest na 0,3 m. gruby. Spoczywa on na pierścieniowatym pływaku drewnianym *bb*, o średnicy zewnętrznej = 1.5 m., o średnicy wewnętrznej = 0.7 m. i o grubości 0,25 m. Pływak spoczywa na rtęci, zawartej w misie z żelaza lanego *cc*, grubej na 1.5 cm., takich wymiarów, że zostawia ona około

1 cm. przestrzeni wolnej (clearance) wokoło pływaka. Pręt *d*, prowadzony przez ramiona *gggg*, pasuje w pochwę, przymocowaną do pływaka. Pręt może być w pochwę wsuwany lub z niej wysuwany za pomocą dźwigni, obracającej się koło *f*. Ten pręt utrzymuje pływaka w pozycji koncentrycznej względem miski, lecz nie niesie wcale ciężaru kamienia. Pierście-

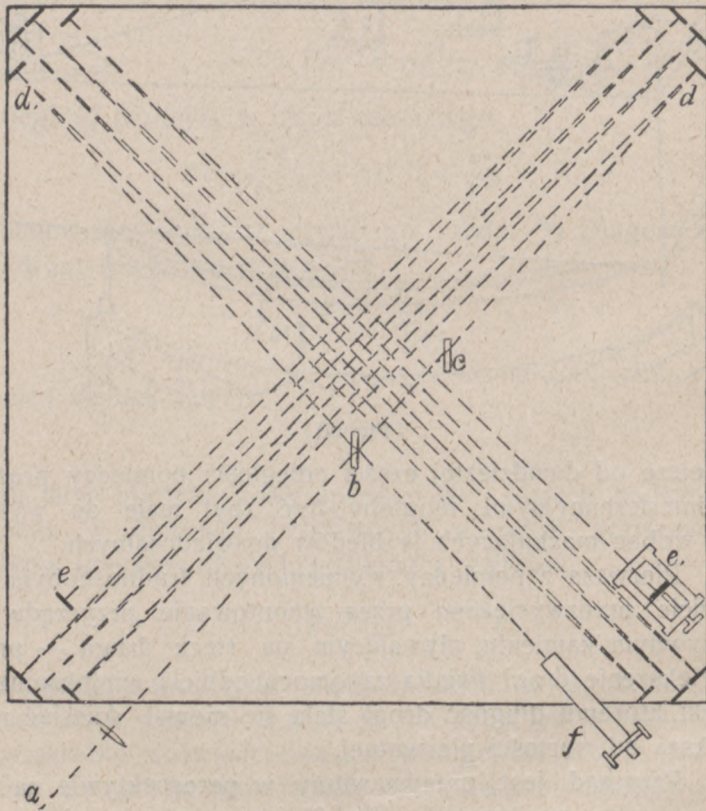


Fig. 61.

niowata miska żelazna spoczywa na podłożu z cementu, pokrywającym niski słup z cegły zbudowany w kształcie pustego ośmiokąta.

Promienie światła (fig. 61), wychodzące z *a*, padały na soczewkę, poczem przechodziły przez płytkę *b* równoległościenną.

Tu promień się rozdzielał: część jego szła do zwierciadła *d*. Potem, po odbiciu wielokrotnem od zwierciadeł umieszczonych w czterech rogach, promienie trafiały na obiektyw lunety *f* i dawały prążki interferencyjne.

Obserwacje były prowadzone w sposób następujący: naokoło naczynia z żelaza lanego zrobiono w równych odstępach szesnaście znaków. Aparat był obracany nader wolno (jeden obrót na sześć minut), i po kilku minutach krzyż mikrometru ustawiano na najjaśniejszy

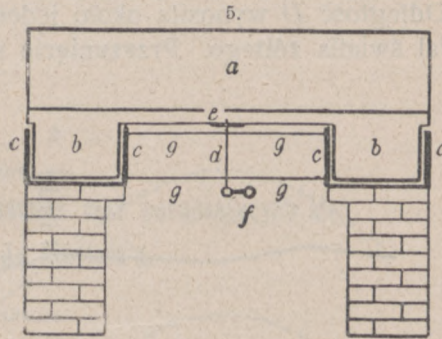


Fig. 63.

prążek interferencyjny w chwili przejścia koło jednego ze znaków. Ruch był tak wolny, że to mogło być wykonane łatwo i dokładnie. Wskazanie główki bębna mikrometru było notowane; dla podtrzymania ruchu udzielano kamieniowi lekkiego i stopniowego impulsu; przy przejściu koło drugiego znaku powtarzano ten sam proces, i trwało to dopóty, dopóki przyrząd nie wykonał sześciu obrotów. Okazało się, że przy wprawianiu przyrządu w ruch jednostajny wyniki były daleko zgodniejsze i jednostajniejsze, niż,—gdy kamień zatrzymywano w spoczynku dla każdego spostrzeżenia.

Wyniki spostrzeżeń są przedstawione graficznie na fig. 64. Na górze jest krzywa obserwacji, wykonywanych w południe, a na dole krzywa obserwacji wieczornych. Krzywe przerywane dają jedną ósmą przesunięcia teoretycznego. Zdaje się, iż z figury słusznie można wnioskować, że jeżeli jest jakiegokolwiek przesunięcie, pochodzące z ruchu względnego ziemi i eteru światłonośnego, to nie może ono być znacznie większe od 0.01 odstępu pomiędzy prążkami.

Jeżeli rozpatrywać tylko ruch ziemi po jej orbicie, przesunięcie to powinno wynosić

$$2 D \frac{v^2}{c^2} = 2 D \times 10^{-8}.$$

Odległość D wynosiła około jedenastu metrów lub 2×10^7 fal światła żółtego. Przesunięcie rzeczywiste było z pewno-

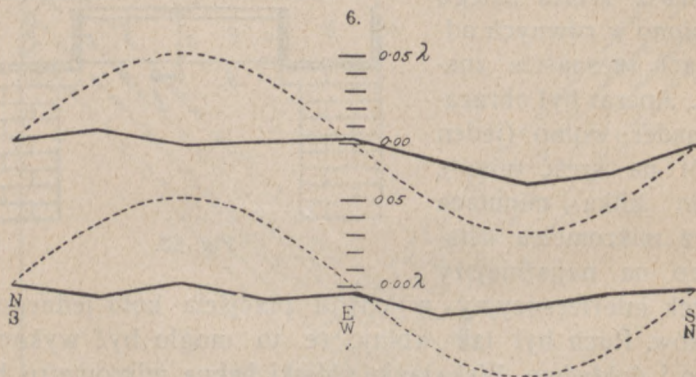


Fig. 64.

ścią mniejsze od dwudziestej części tej wartości i prawdopodobnie mniejsze, niż część czterdziesta.

Rozpatrywaliśmy poprzednio tylko ruch ziemi po jej orbicie. Gdybyśmy go skombinowali z ruchem systemu słonecznego, co do którego jednak mało mamy wiadomości pewnych, wynik musiałby być zmodyfikowany, i jest właśnie możliwe, że prędkość wypadkowa w czasie spostrzeżeń była mała, choć pogląd ten ma wiele szans przeciwko sobie. Doświadczenie będzie przeto powtórzone w odstępach trzymiesięcznych, a w ten sposób uniknie się wszelkiej niepewności.

W sprawie elektrodynamiki ciał poruszających się;
przez A. Einstein'a.

Wiadomem jest, że elektrodynamika Maxwell'a — jak ją obecnie zazwyczaj pojmujemy — prowadzi w swem zastosowaniu do ciał poruszających się do asymetrii, które, jak się zdaje, nie tkwią w samych zjawiskach. Pomyślmy na przykład o elektrodynamicznem oddziaływaniu wzajemnem magnesu i przewodnika. Zjawisko, które tu możemy obserwować, zależy tylko od ruchu względnego przewodnika i magnesu, gdy tymczasem podług zwykłego sposobu ujmowania należy ściśle oddzielić od siebie obydwie przypadki, kiedy jest poruszane to jedno, to drugie z tych ciał. Kiedy mianowicie porusza się magnes a spoczywa przewodnik, to w sąsiedztwie magnesu powstaje pole elektryczne, posiadające pewien zapas energii, ono właśnie wytwarza prąd w miejscach, gdzie się znajdują części przewodnika.¹²⁾ Kiedy jednak magnes spoczywa, a przewodnik się porusza, to w okolicy magnesu pole elektryczne nie powstaje, przeciwnie zaś w przewodniku powstaje siła elektrobodźcza, której jednak nie odpowiada żaden zapas energii; jeżeli jednak przypuścimy, że ruchy względne w obydwu przypad-

*) Zur Elektrodynamik bewegter Körper; von A. Einstein. Annalen der Physik, rok 1905, t. 17, str. 891.

kach rozważanych są jednakowe, to owa siła elektrobodźcza powoduje prądy elektryczne tej samej wielkości i o tym samym przebiegu, jak to czynią w pierwszym przypadku siły elektryczne.

Podobne przykłady, jako też niepowodzenie w doświadczeniach, mających na celu stwierdzenie ruchu ziemi w stosunku do ośrodka świetlnego, prowadzą do przypuszczenia, że nie tylko w mechanice, lecz i w elektrodynamice pojęciu spoczynku bezwzględnego nie odpowiadają żadne własności zjawisk. Mniemać należy raczej, że dla wszelkich układów spórzędnych, dla których są słuszne równania mechaniczne, są również słuszne jednakowe prawa elektrodynamiczne i optyczne, jak tego już dowiedziono dla wielkości pierwszego rzędu.¹³⁾ To przypuszczenie (którego treść będziemy nazywali poniżej „Zasadą względności“) uczynimy założeniem naszym; prócz tego wprowadzimy założenie z niem pozornie niezgodne, że światło w przestrzeni próżnej rozchodzi się zawsze z prędkością określoną V , niezależną od prędkości ciała, które je wysyła. Te obydwie przypuszczenia wystarczają, żeby dojść do prostej i wolnej od sprzeczności elektrodynamiki ciał poruszających się, biorąc za podstawę teorię Maxwell'a dla ciał spoczywających. Wprowadzenie „eteru świetlnego“ okaże się zbyteczne, ile że podług pojmowania, które mamy rozwinąć, ani nie wprowadzamy „przestrzeni, będącej w spoczynku bezwzględnym“, ani też nie przypisujemy wektora prędkości punktowi przestrzeni próżnej, w której odbywają się procesy elektromagnetyczne.

Teoria, która ma być rozwinięta, opiera się, jak i każda inna elektrodynamika, na kinetyce ciała sztywnego, gdyż orzeczenia każdej teorii dotyczą związków pomiędzy ciałami sztywnymi (układami spórzędnych), zegarami i procesami elektrodynamicznymi. Niedostateczne uwzględnienie tej okoliczności jest źródłem trudności, z którymi musi obecnie walczyć elektrodynamika ciał poruszających się.

I. CZĘŚĆ KINEMATYCZNA.

§ 1. Określenie równoczesności.

Przypuśćmy, że mamy układ spólrzędnych, w stosunku do którego są słuszne Newton'owskie równania mechaniczne. Ten układ spólrzędnych, gwoli odróżnienia go w mowie od układów spólrzędnych, które wprowadzimy później, i gwoli nadania wyobrażeniom określonego kształtu, nazwiemy „układem spoczywającym“.

Jeżeli punkt materialny jest w spoczynku względem tego układu spólrzędnych, to jego położenie względem układu może być określone zapomocą sztywnych miar przy użyciu metod geometrii Euklidesowej i może być wyrażone w spólrzędnych Kartezjusza.

Jeżeli chcemy opisać ruch punktu materialnego, to podajemy wartość jego spólrzędnych jako funkcję czasu. Trzeba jednak mieć na oku, że tego rodzaju opis matematyczny wtedy dopiero posiada sens fizyczny, kiedy sobie poprzednio wyjaśnimy, co rozumiemy przez „czas“. Musimy uwzględnić, że wszystkie nasze sądy, w których czas gra pewną rolę, są zawsze sądami o wydarzeniach równoczesnych. Kiedy mówię, na przykład: „Ten pociąg przychodzi tu o godzinie 7-mej“, znaczy to mniej więcej: „Wskazanie siódemki przez małą wskazówkę zegarka mego i przybycie pociągu są zjawiskami równoczesnymi“.

Mogłoby się zdawać, że wszystkie trudności, dotyczące określenia „czasu“, mogłyby być przewyciężone przez to, iż „czas“ zastąpiłbym „pozycją małej wskazówki mego zegarka“. Określenie takie jest w samej rzeczy dostatecznem, kiedy chodzi o to, żeby czas określić wyłącznie dla miejsca, w którym właśnie znajduje się zegar; definicya nie wystarcza już więcej, skoro chodzi o to, żeby szeregi wydarzeń, zachodzących w miejscach różnych, powiązać ze sobą w czasie, lub, co na jedno wychodzi,—oceniać z punktu widzenia

czasu wydarzenia, które zachodzą w miejscach od zegara odległych.

Możemy co prawda zadowolić się następującą oceną porządku wydarzeń w czasie: obserwator, znajdujący się wraz z zegarem na początku układu współrzędnych, podporządkowuje odpowiednią pozycję wskazówki zegara każdemu znakowi świetlnemu, który dochodzi doń poprzez przestrzeń próżną i który świadczy zarazem o wydarzeniu, które ma być ocenione z punktu widzenia czasu. W takim podporządkowaniu tkwi jednak ta wada, iż, jak to wiemy z doświadczenia, nie jest ono niezależne od stanowiska obserwatora, zaopatrzonego w zegar. Poniższe rozważanie prowadzi do daleko praktyczniejszego sposobu ustalenia czasu.

Jeżeli w punkcie A przestrzeni znajduje się zegar, to obserwator, znajdujący się w A , może ocenić z punktu widzenia czasu zdarzenia zachodzące w najbliższym sąsiedztwie tego punktu, wyszukując pozycje wskazówek zegarowych, równoczesne względem tych wydarzeń. Jeżeli i w punkcie B przestrzeni również znajduje się zegar—dodajmy „zegar o ściśle takim samym urządzeniu, jak i zegar w A ”—to i w najbliższym otoczeniu B jest możliwe dokonanie oceny zjawisk w czasie przez obserwatora, znajdującego się w B . Jednak porównanie w czasie zjawiska, zachodzącego w A , ze zjawiskiem w B zachodzącym, nie jest możliwe bez ustalenia dalszych założeń; określiliśmy dotychczas tylko „czas w A ” i „czas w B ”, nie określiliśmy jednak „czasu” wspólnego dla A i B . Taki właśnie czas możemy określić, ustalając drogą definicyi, że „czas”, którego światło potrzebuje, aby dojść z A do B , równy jest „czasowi”, którego światłu potrzeba, aby dojść z B do A . Niech mianowicie w chwili t_A , wyrażonej zapomocą „czasu w A ”, z punktu tego odchodzi promień świetlny z A do B , który w punkcie B zostaje odbity w stronę A w momencie t_B , „czasu w B ”; dochodzi on z powrotem do A w chwili t'_A , wyrażonej według „czasu w A ”. Podług definicyi obydwaj zegary idą synchronicznie, gdy

$$t_B - t_A = t'_A - t_B.$$

Zakładamy, że ta definicya synchronizmu jest możliwa w sposób wolny od sprzeczności, i — w dodatku dla dowolnie wielu punktów, że przeto zachodzą wogóle związki następujące:

1. Jeżeli zegar w B idzie synchronicznie z zegarem w A , to i zegar w A idzie synchronicznie z zegarem w B .

2. Jeżeli zegar w A idzie synchronicznie zarówno z zegarem w B , jako też z zegarem w C , to i zegary w B i C idą względem siebie synchronicznie.

Tym sposobem ustaliliśmy, biorąc do pomocy pewne (pomyślane) doświadczenia fizyczne, co należy rozumieć przez bieg synchroniczny zegarów, będących w spoczynku, a znajdujących się w miejscach różnych; widocznem jest, iż zdobyliśmy tym sposobem określenie „równoczesności“ i „czasu“. Czasem zdarzenia jest równoczesne z tem zdarzeniem wskazanie zegara, będącego w spoczynku i znajdującego się w miejscu zdarzenia; ten zegar biegnie synchronicznie z określonym zegarem, będącym w spoczynku, który ma być jeden i ten sam dla wszystkich wyznaczeń.

Zakładamy zgodnie z doświadczeniem że wielkość

$$\frac{2 AB}{t_A - t_A} = V$$

jest stałą powszechną (prędkością światła w przestrzeni próżnej).

Jest rzeczą istotną, iż określiliśmy czas zapomocą zegarów, będących w spoczynku w układzie spoczywającym; tak właśnie określony czas wskutek tej przynależności do układu spoczywającego nazywamy „Czasem układu spoczywającego“.

§ 2. O względności długości i czasów.

Powyższe rozważania opierają się na zasadzie względności i na zasadzie stałej prędkości światła; obydwie zasady te określamy w sposób następujący.

1. Prawa, według których zmieniają się stany układów fizycznych, są niezależne od tego, do którego z dwu ukła-

dów, znajdujących się względem siebie w ruchu jednostajnym prostoliniowym, odnosimy te zmiany stanów.

2. Każdy promień świetlny porusza się w „spoczywającym“ układzie spólrzędnych z określoną prędkością V niezależnie od tego, czy ten promień świetlny jest wysyłany przez ciało spoczywające czy też w ruchu będące. Przytem

$$\text{prędkość} = \frac{\text{drodze światła}}{\text{czas trwania}};$$

czas trwania należy pojmować w sensie określenia § 1.

Przypuśćmy, że dany jest sztywny nieruchomy pręt; przypuśćmy dalej, że, według pomiarów dokonanych zapomocą spoczywającego również pręta, posiada on długość l . Pomyślmy teraz, że oś pręta jest skierowana wzdłuż osi X -ów spoczywającego układu spólrzędnych i że prętowi jest udzielony ruch jednostajny równoległy (prędkość v) wzdłuż osi X -ów w kierunku wzrastającego x . Zapytujemy teraz o długość poruszającego się pręta; wyobrażamy sobie, iż wyznaczono ją zapomocą dwu następujących czynności:

a) Obserwator porusza się wraz z poprzednio wymienioną miarą i wraz z prętem, który ma być mierzony, i bezpośrednio, przez przyłożenie miary, mierzy długość pręta; — jak gdyby obserwator wraz z prętem, który ma mierzyć, i miarą znajdował się w spoczynku.

b) Obserwator wyznacza zapomocą będących w spoczynku i synchronicznych podług § 1 zegarów, które są umieszczone w układzie spoczywającym, w jakich punktach układu tego znajduje się początek i koniec mierzonego pręta w określonym czasie t . Odległość obydwu tych punktów, mierzona poprzednio już używaną, w tym przypadku nieruchomą miarą, również jest długością, której można nadać miano „długości pręta“.

Podług zasady względności długość, którą znajdziemy przy operacji a) i którą będziemy nazywali „długością pręta w układzie poruszonym“, będzie musiała być równa długości l pręta w spoczynku będącego.

Długość, którą znajdziemy przy operacji *b*) i którą będziemy nazywali „długością pręta (poruszającego się) w układzie spoczywającym“, określimy na podstawie naszych obydwu zasad i znajdziemy, że ona jest od *l* różna.

Powszechnie stosowana kinematyka przyjmuje milcząco, że długości, określone przez obydwie wspomniane operacje, są sobie dokładnie równe, lub innymi słowy — że poruszające się ciało sztywne w chwili czasu *t* pod względem geometrycznym może być w zupełności zastąpione przez to samo ciało, gdy się ono znajduje w spoczynku w określonej pozycji.

Wyobraźmy sobie dalej, że na obydwu końcach pręta *A* i *B* są umieszczone zegary, synchroniczne z zegarami układu spoczywającego, t. j. zegary których wskazania odpowiadają zawsze „czasowi układu spoczywającego“ w miejscach, w których się one znajdują; te zegary są zatem „synchroniczne w układzie spoczywającym“.

Wyobraźmy sobie dalej, że przy każdym zegarze znajduje się obserwator, poruszający się wraz z nim, i że obserwatorzy ci stosują do obydwu zegarów probierz co do synchronicznego biegu dwu zegarów, podany w § 1. Niech wyjdzie w czasie *t_A* promień świetlny z *A*, który, będąc odbity w czasie *t_B*, dochodzi do *A* w czasie *t'_A*. Uwzględniając zasadę stałej prędkości światła, znajdziemy

$$t_B - t_A = \frac{r_{AB}}{V - v}$$

i

$$t'_A - t_B = \frac{r_{AB}}{V + v},$$

przyczem *r_{AB}* oznacza długość poruszającego się pręta, — mierzoną w układzie nieruchomym. Obserwatorowie, poruszający się z prętem ruchomym, znaleźliby, że obydwie zegary nie idą synchronicznie, gdy tymczasem obserwatorowie, znajdujący się w układzie nieruchomym, oświadczyliby, że zegary idą synchronicznie.

Widzimy więc, że pojęciu równoczesności nie możemy przypisać znaczenia bezwzględnego, lecz, że dwa zdarzenia, które, rozpatrywane z danego układu spólrzędnych, są równoczesne, rozpatrywane z układu, poruszającego się względem układu tamtego, nie mogą już być pojmowane, jako zdarzenia równoczesne.

UWAGI.

¹⁾ (Str. 356). Doświadczenie Arago polegało na następującem. Promienie, idące od gwiazdy, znajdującej się w płaszczyźnie ekliptyki, przepuszczano przez pryzmat. Wiadomo, że podług teorii falowej spólczynnik załamania równy jest stosunkowi prędkości w dwu ośrodkach. Gdyby ruch ziemi wpływał na zjawiska optyczne, to prędkość światła powinna być zmieniona przy przejściu od obserwacji gwiazdy, ku której ziemia zdąża, do obserwacji gwiazdy odległej na sklepieniu niebieskiem o 180° , od której ziemia oddala się. Arago obliczył, że kąt odchylenia promieni powinien się zmieniać przy tem minimalnie o $10-15''$. Doświadczenie dało wynik ujemny, choć kąt taki mógł jeszcze być obserwowany.

²⁾ (Str. 357). Dla obserwacji prążków interferencyjnych, które powstają przy przebieganiu przez promienie dłuższych dróg,

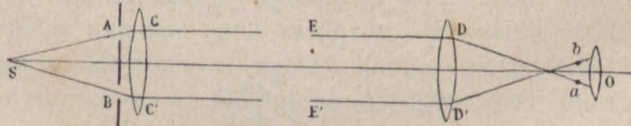


Fig. 64.

użył Arago przyrządu, naszkicowanego na fig. 64. Źródłem światła była wązka szpara S , umieszczona w ognisku głównem soczewki achromatycznej CC' . Promienie przechodziły przez otwory w ekranie AB i za soczewką — przez rury napełnione gazami. Za temi rurami znajduje się druga soczewka DD' , która znów zbiera światło w swem ognisku. Soczewka DD' dawała obrazy szpar a i b ;

lupa O , zbierając na siatkówce promienie, wychodzące z a i b , wytwarzała prążki interferencyjne.

³⁾ (Str. 358). Konstrukcja przyrządu Fizeau była następująca. Źródło światła znajdowało się w S . Soczewkę L umieszczono w takiej pozycji, że obraz S' punktu S w zwierciadle L znajdował się w jej ognisku głównym. (Rysunek jest niedokładny. Oczywiście jest, iż S' powinno leżeć na prostopadłej do zwierciadła z , poprowadzonej z punktu S ; prócz tego odległości tych punktów od zwierciadła powinny być jednakowe). Promienie wychodziły z soczewki wiązką równoległą i przechodziły dalej przez otwory O i O' w ekranie, a potem — przez dwie rury AB i $A'B'$. Przez te ostatnie, które stanowiły właściwie jedno naczynie, przedzielone przegrodą podłużną, przepływała woda w kierunkach przeciwnych, wskazanych na fig. strzałkami. Po przejściu przez rury promienie padały

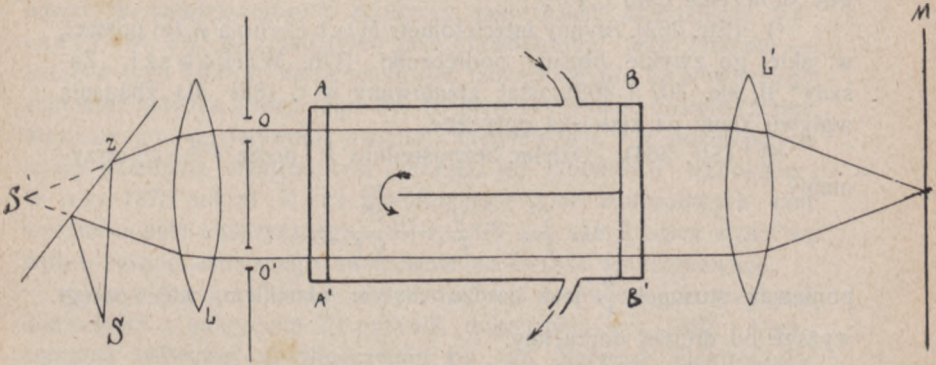


Fig. 65.

na soczewkę L' i zbierały się w jej ognisku. Tam też umieszczono zwierciadło M . W skutek równości kątów przy odbiciu, promienie wymieniały teraz swe drogi i wracały napowrót: pierwszy tą drogą, którą przebiegł uprzednio drugi, i drugi — drogą pierwszego. Promienie powracające zbierały się w S , gdzie obserwator rozpatrywał wynik ich interferencji. Zapomocą tego niepospolicie pięknego pomysłu osiągnąco doskonałą symetrię obydwu promieni. Wszelka okoliczność przypadkowa, która działała na promień pierwszy, musiała w równej mierze oddziaływać i na promień drugi.

⁴⁾ (Str. 358). Podług teorii Fresnel'a ciało poruszające się porywa eter z prędkością $u = v \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$, gdzie v jest to

prędkość ciała, a n — jego współczynnik załamania. Z wzoru tego widzimy, że ruch ciała tem większy wpływ wywiera, im większy jest jego współczynnik załamania n . Współczynnik załamania powietrza = 1,000294 tak mało się różni od jedności, że unoszenie fal świetlnych przez eter nie może być dostrzegane w powietrzu.

5) (Str. 360). Ob. wstęp na str. 350.

6) (Str. 360). Ob. wstęp na str. 352.

7) (Str. 361). Ob. str. 355 książki niniejszej.

8) (Str. 361). Doświadczenie Fizeau zostało powtórzone w r. 1886 przez Michelson'a i Morley'a, Udoskonallili oni znacznie środki doświadczalne i okazali, że teoria Fresnel'a ściśle zgadza się z eksperymentem. Tak, biorąc pod uwagę dane doświadczenia, znaleziono na wartość czynnika $1 - \frac{1}{n^2}$ liczbę 0,434 ($\pm 0,02$), gdy obliczenie dało 0,437.

9) (Str. 362). Słynny interferometr Michelson'a w tej postaci, w jakiej go zwykle opisują podręczniki, (Ob. Witkowski „Zasady“ II, str. 407 i 408) został zbudowany w r. 1881 dla zbadania wpływu ziemi na zjawiska optyczne.

10) (Str. 364). Dzielnik bezpośrednio V^2 przez $V^2 - v^2$, otrzymamy

$$1 + \frac{v^2}{V^2} + \frac{v^4}{V^4} + \frac{v^6}{V^6} \dots$$

ponieważ stosunek $\frac{v}{V}$ jest bardzo małym ułamkiem, więc potęgi wyższe od drugiej odrzucimy.

11) (Str. 364). Wyrażenie $\sqrt{1 + \frac{v^2}{V^2}}$ można rozwinąć w szereg zapomocą wzoru Maclaurin'a. Jednak i drogą rachunku elementarnego otrzymuje się pożądaný wynik: $\left(1 + \frac{v^2}{2V^2}\right)^2$ równa się $1 + \frac{v^2}{V^2}$ z pominięciem kwadratu drugiego [wyrazu. Możemy więc, pozostając w granicach ściśłości, jakąśmy ociągnęli w rachunku poprzednim, założyć, iż $\sqrt{1 + \frac{v^2}{V^2}} = 1 + \frac{v^2}{2V^2}$.

12) (Str. 369). Czytelnik, któremu znana jest teoria Maxwell'a, z łatwością zauważy, że chodzi tu o zastosowanie drugiego równania zasadniczego tej teorii. To równanie orzeka, iż wszelkiej zmianie natężenia pola magnetycznego towarzyszy wirowe pole elektryczne; gdzie zaś jest pole elektryczne, tam ma-

my i zapas energii proporcjonalny do kwadratu natężenia pola. Kiedy magnes jest nieruchomy, natężenie pola magnetycznego w przestrzeni okalającej magnes nie zmienia się, a więc pole elektryczne tam nie powstaje.

¹³⁾ (Str. 364). Teorya pokazuje, że ruch ciał nie ma wpływu na różne zjawiska optyczne, jak załamanie, odbicie, interferencya, o ile poprzestać na nieskończeniu małych pierwszego rzędu. (Ob. np. Lorentz'a „The theory of electrons.“ Lipsk, Teubner 1909, str. 178).

O zjawiskach elektrooptycznych.

Odkrycie magnetycznego skręcenia płaszczyzny polaryzacji należy do najpiękniejszych zdobyczy, jakie nauka zawdzięcza Faraday'owi. Był to zrazu tylko fakt odosobniony, lecz zarazem — jeden z tych faktów, które naprawdę rzucają światło na wewnętrzny charakter zjawisk. Prócz tego był to pierwszy dowód doświadczalny wzajemnego oddziaływania światła i magnetyzmu. W późniejszych latach dziedzina elektrooptyki zaczęła się stopniowo wzbogacać. W roku 1875 odkrył Kerr dwójłomność ciał izotropowych pod wpływem pola elektrycznego. W r. 1877 ten sam badacz wykrywa wpływ namagnesowanego zwierciadła na światło spolaryzowane.

Te odkrycia Kerr'a nie dadzą się porównać pod względem doniosłości z odkryciem Zeeman'a, dokonaniem w r. 1897. Uwydatniono wówczas doświadczalnie po raz pierwszy elektronowy charakter emisji i absorbcji światła. W związku ze zjawiskiem Zeeman'a poczyniono szereg innych ciekawych spostrzeżeń, jak np. stwierdzono anomalne skręcenie płaszczyzny polaryzacji w obrębie prążków absorbcji. Zdołano wreszcie zastosować odkrycia w dziedzinie magnetoptyki i do zjawisk kosmicznych: amerykańskiemu astronomowi Hale'owi udało się wykazać rozszczepienie linii widmowych w obrębie plam słonecznych.

Tak więc odkrycie Zeeman'a rozpoczęło jakby nową erę w tej dziedzinie badań. Sądzono zrazu, iż badania te doprowadzą do poznania mechanizmu atomów; należy jednak przyznać, że dziś wiemy tyle tylko, iż mechanizm ten musi być niezmiernie skomplikowany. Wydaje się jednak niewątpliwem, że na tej drodze szukać należy rozstrzygnięcia niejednej zagadki, dotyczącej budowy materii.

Michała Faraday'a badań doświadczalnych nad elektrycznością,
szereg dziewiętnasty. *)

Philosoph. Transact. r. 1846.

XXVI. O magnesowaniu światła i o oświetle-
niu linii sił magnetycznych.**)

1. Działanie magnesów na światło.

2146. Oddawna już, prawdopodobnie wraz z wielu innymi zwolennikami nauk przyrodniczych, żywiłem mniemanie, graniczące z pewnością, że różne postaci, w których występują siły materyi, mają wspólne pochodzenie; innymi słowy, — iż znajdują się one w tak bezpośrednim związku ze sobą i w takiej zależności wzajemnej, że mogą w równej mierze być przemienione jedna w drugą i w działaniu swem są sobie równoważne. W nowszych czasach nagromadzono znaczną ilość dowodów ich zdolności do przemian i uczyniono początek wyznaczenia ich równoważników.

*) Tłómaczono z przekładu niemieckiego von Oettingen'a — w wydawnictwie „Ostwald's Klassiker der exacten Wissenschaften“ № 139.

***) Nagłówek tej rozprawy wywołał, jakem słyszał, u wielu czytelników nieporozumienia co do jej treści; pozwałam sobie przeto dodać tę objaśniającą uwagę. Jeżeli nie będziemy ani przyjmowali, ani też odrzucali hipotezy o eterze lub też poglądu korpuskularnego (corpusculum—ciałko, uw. tłómacza) lub jakiegobądź innego o naturze światła, to,

2147. To ugruntowane przekonanie, rozciągnięte na siły światła, skłoniło mnie już dawniej do pewnych wysiłków, aby odkryć bezpośredni związek pomiędzy światłem i elektrycznością i ich wzajemne oddziaływanie na ciała, podane ich wspólnemu wpływowi. Lecz wyniki były ujemne i zostały później potwierdzone w tym względzie przez Wartman n'a 2148. Te daremne wysiłki i wiele innych, nigdy nieogłaszanych, nie mogły jednak zachwiać mego przekonania, opartego na rozważaniach filozoficznych, i wskutek tego przedsięwzięłem obecnie na nowo jak najzarliwsze poszukiwania doświadczalne, przyczem udało mi się teraz nareszcie namagnesować i naelektryzować promień świetlny, jako też—oświetlić linię sił magnetycznych. Nie wchodząc w szczegóły wielu bezskutecznych doświadczeń, opiszę wyniki tak krótko i jasno, jak tylko będę mógł.

.....

zdaniem mojem, o promieniu świetlnym naprawdę nic więcej nie wiemy, niż o linii sił elektrycznych lub magnetycznych lub nawet — o linii siły ciężkości; a mianowicie,—że tak promień świetlny, jako też linie sił, okazują swe działanie wewnątrz ciał materialnych i—dzięki tym ciałom materialnym. Mniemam przeto, że w doświadczeniach przeze mnie w tej rozprawie opisanych światło doznało wpływu magnetycznego,— to jest, że to, co w siłach materji jest magnetycznem doznało wpływu, a z drugiej strony to, co w sile światła jest naprawdę magnetycznem, wywierało wpływ. Słowo magnetyczne obejmuje tu szczególnie przejawy siły magnesu, niezależnie od tego, czy występują one w ciałach magnetycznych lub diamagnetycznych. Wyrażenie „Oświetlenie linii sił magnetycznych“ pojęto w tem znaczeniu, iż miało ono orzekać, że uczyniłem te linie świecącemi. Nie przychodziło mi to na myśl. Chciałem tylko powiedzieć przez to, że linia sił magnetycznych tak była oświetlona, jak — ziemia przez słońce lub krzyż lunety przez lampę. Przy zastosowaniu promienia świetlnego możemy na oko wytknąć kierunek linii magnetycznych w danem ciele, i przez zmianę promienia i jego działania optycznego na oko możemy widzieć drogę tych linii podobnie, jak możemy dostrzegać przebieg nici szklanej lub innego ciała przezroczystego, kiedy ono dzięki światłu staje się dostrzegalnem. I to rozumiałem przez oświetlenie, co rozprawa całkowicie wyjaśni. — 1845, 15 września.

M. F.

2150. Światło od lampy Argand'a polaryzowano w płaszczyźnie poziomej przez odbicie od powierzchni szklanej, przechodziło ono dalej przez pryzmat Nicol'a¹⁾, który, gwoli łatwiejszego badania światła, mógł być obracany koło osi poziomej. Pomiędzy zwierciadłem polaryzującym i nikolem ustawiono dwa silne bieguny elektromagnesu, bądź też bieguny magnesu w kształcie podkowy lub bieguny przeciwnie dwu magnesów cylindrycznych. Te bieguny ustawiono tak, iż były one rozsunięte w kierunku promienia o jakieś dwa cale; znajdowały się bądź obydwu po jednej stronie promienia spolaryzowanego tuż koło niego, bądź też po jego obydwu stronach tak, iż on biegł pomiędzy nimi, i światło miało w zupełności lub w przybliżeniu kierunek linii sił magnetycznych. Tym sposobem substancja przezroczysta, wprowadzona pomiędzy obydwu bieguny, musiała jednocześnie przepuszczać przez siebie w tym samym kierunku promień światła spolaryzowany i linie sił magnetycznych.²⁾

2151. Przed 16 laty ogłosiłem doświadczenia z pewnym szkłem optycznym^{*)} i opisałem przy tem sposób otrzymywania i własności szkła ciężkiego, które, na podstawie jego części składowych, było nazwane krzemowo-borowym tlenkiem ołowiu. To właśnie szkło naprowadziło mnie po raz pierwszy na odkrycie związku pomiędzy światłem i magnetyzmem; pod tym względem przewyższa ono znacznie wszystkie inne ciała. Gwoli jasności opiszę z początku zjawiska tak, jak je ukazuje to szkło.

2152. Kawałek tego szkła, stanowiący kwadrat o boku = 2 calom, gruby na 0,5 cala, o równych i wypolerowanych powierzchniach końcowych umieszczono pomiędzy biegunami (które jeszcze nie były namagnesowane przez

*) Philosoph, Transact. 1830. Nie mogę nie wspomnieć przy tej sposobności o p. Anderson'ie, który w czasie tych doświadczeń ze szkłem został mym pomocnikiem i odtąd wciąż pozostawał w pracowni Royal-Institution. Pomagał mi on we wszystkich od tej pory prowadzonych badaniach i wiele zawdzięczam jego staranności, wytrwałości, dokładności i oddaniu w spełnianiu danych mu zleceń.

prąd) tak, iż promień spolaryzowany musiał biedz wzdłuż tego kawałka. To szkło jest ciałem diamagnetycznem. Działo ono podobnie, jak powietrze, woda lub jakakolwiek inna substancya obojętna i, kiedy obrócono uprzednio nikol tak, że promień spolaryzowany gasnął, a raczej wytworzony przezeń obraz był niewidzialny, to włączenie w bieg promieni szkła nie wywołało żadnej pod tym względem zmiany. W tych warunkach wzbudzano elektromagnes, przepuszczając prąd elektryczny przez jego zwoje; obraz lampy natychmiast stawał się widzialny i pozostawał takim, dopóki podtrzymywano prąd. Kiedy prąd przerywano, a więc — znikła i siła magnetyczna, znikło natychmiast i światło. Te zjawiska można było dowolnie wznawiać w każdej chwili, i za każdym razem okazywała się doskonała zależność pomiędzy przyczyną a skutkiem.

2153. Stosowany przy tej sposobności prąd voltaiczny otrzymywano zapomocą pięciu par konstrukcyi Grove'go, a elektromagnesy miały taką moc, że pojedyncze bieguny mogły utrzymać ciężar od 28 do 56 funtów i powyżej. Przy słabym magnesie nie możnaby tych zjawisk zauważyć, obserwując je po raz pierwszy.

2154. Siła wywierana na substancję diamagnetyczną ma charakter skręcający; albowiem, kiedy obraz płomienia lampy staje się widoczny, to mniejsze lub większe skręcenie nikola na prawo lub na lewo gasi go, a dalszy obrót w jednym lub drugim kierunku znów go czyni widzialnym, przytem przy obrocie wlewo i wprawo barwy są dopełniające. ³⁾

Kiedy najbliższym obserwatora był biegun znaczony czyli biegun północny igły magnesowej, a najdalszym odeń — biegun nieznaczony, to skręcenie promienia zachodziło wprawo, i nikol musiał być obrócony wprawo czyli w kierunku strzałki zegara, aby mógł podążyć za promieniem, to jest przywrócić obrazowi jego stan dawny. Kiedy zmieniano bieguny, co uskutecziano momentalnie przez zmianę kierunku prądu, zmieniało się też i skręcenie i przechodziło na stronę lewą, pozostając co do wielkości równem dawnemu. Dla

danej linii sił magnetycznych kierunek był zawsze ten sam.

.....

2163. Przedewszystkiem, zdaje się, jest skrócenie w związku z długością ciała diamagnetycznego, przez które przechodzą promienie i linie sił magnetycznych. Pozostawiłem niezmienną siłę magnesu i odstęp wzajemny jego biegunów i umieszczałem pomiędzy nimi różne kawałki ciężkiego szkła tego samego gatunku. Im większa była rozciągłość ciała diamagnetycznego w kierunku promienia, niezależnie od tego czy był jeden, dwa lub trzy kawałki, tem większe było skrócenie promienia; o ile można było wnioskować na podstawie tych pierwszych doświadczeń, wielkość skrócenia była ściśle proporcjonalna do drogi, którą promień przebiegał w ciele diamagnetycznem. Umieszczanie obok innego kawałka szkła ciężkiego lub też usuwanie w bok danego kawałka nie wywołało żadnej różnicy w działaniu tej części, przez którą promień przebiegał.

2164. Skrócenie promienia wzrasta wraz z natężeniem linii sił magnetycznych. Daje się to łatwo udowodnić przy użyciu elektromagnesów; i w obrębie sił przeze mnie stosowanych zdaje się, iż skrócenie jest wprost proporcjonalne do natężenia siły magnetycznej. ⁴⁾

2165. Oprócz szkła ciężkiego, posiadają również i inne ciała zdolność oddziaływania na światło pod wpływem siły magnetycznej. Jeżeli te ciała już same przez się posiadają zdolność skręcania, jak np. olejek terpentynowy, cukier, kwas winny, sole kwasu winnego i t. p., to skutek siły magnetycznej należy do ich własnej siły bądź dodać, bądź odjąć, odpowiednio do tego, czy skrócenie naturalne i skręcanie wzbudzone przez magnetyzm są skierowane wprawo czy wlewo.

.....

O wpływie magnetyzmu na naturę światła wysyłanego przez daną substancję. Przez D-r P. Zeeman'a. *)

1. Kilka lat temu, podczas mych pomiarów, dotyczących zjawiska Kerr'a,⁵⁾ przyszło mi na myśl, że światło płomienia, poddanego działaniu magnetyzmu, mogłoby podlegać jakiejś zmianie. Bieg rozumowania, zapomocą którego starałem się zilustrować sobie możliwość tego, ma obecnie mniejszą doniosłość; w każdym razie skłoniło mnie ono do próby doświadczalnej. Zapomocą zaimprovizowanego przyrządu patrzyłem na widmo płomienia, zabarwionego sodem, umieszczonego pomiędzy biegunami elektromagnesu Ruhmkorff'a. Wynik był ujemny. Prawdopodobnie nie byłbym tak prędko próbował tego doświadczenia ponownie, gdyby nie zwrócił uwagi mej jakieś dwa lata temu następujący wyjątek z życiorysu Faradaya, napisanego przez Maxwell'a. Czytamy tu (Maxwell, „Zbiór dzieł“ II, str. 790): — „Zanim opiszemy ten wynik, wspomnimy, że w r. 1862 uczynił on przedmiotem swej ostatniej pracy eksperymentalnej związek pomiędzy magnetyzmem i światłem. Starał się, lecz na próżno, wykryć zmianę jakąkolwiek w liniach widmowych płomienia, gdy na płomień ten działał potężny magnes.“

*) On the influence of magnetism on the nature of the light emitted by a substance. By D-r P. Zeeman. Philosophical Magazine, 1897, t. 43, str. 226.

Jeżeli taki Faraday myślał o możliwości wyżej wspomnianego związku, to, być może, warto byłoby jeszcze i obecnie ponownie spróbować tego doświadczenia przy użyciu doskonałych środków pomocniczych spektroskopii dzisiejszej, gdyż nie jest mi wiadomem, iżby ktokolwiek inny tego dokonał. Pozwolę sobie zaznajomić w krótkości czytelników „Philosophical Magazine“ z wynikami, które otrzymałem dotychczas.

2. Elektromagnes użyty był wyrobu Ruhmkorffa i średniej wielkości. Prąd magnesujący, dostarczany przez akumulatory, wynosił w przeważnej liczbie przypadków 27 amperów i mógł być podnoszony do 35 amperów. Światło użyte analizowano zapomocą siatki dyfrakcyjnej Rowland'a o promieniu = 10 st.; liczba linii wynosiła 14938 na cal. ⁶⁾ Używano widma pierwszego rzędu i obserwowano zapomocą okularu mikrometrycznego o nici pionowej. Szpara, dająca się dokładnie regulować, jest umieszczona w pobliżu źródła światła, znajdującego się pod wpływem magnetyzmu.

3. Pomiędzy paraboloidalnymi biegunami elektromagnesu umieszczano środkową część płomienia palnika Bunsen'owskiego. Kawałek azbestu nasyconego solą kuchenną umieszczano w płomieniu w ten sposób, że dwie linie *D* były widziane na czarnem tle, jako linie wąskie i ostro zarysowane. Odległość pomiędzy biegunami wynosiła około 7 mm. Gdy puszczano prąd, dwie linie *D* były wyraźnie rozszerzone. Gdy prąd przerywano powracały one do swej pozycji pierwotnej. Pojawianie się i znikanie poszerzenia zachodziło równocześnie wraz z puszczeniem i przerywaniem prądu. Doświadczenie mogło być powtórzone dowolną ilość razy.

.

5. Przy obserwacji czerwonych linii litu, użytego jako węgiel, obserwowano zupełnie analogiczne zjawisko.

Być może, zjawisko obserwowane będzie uważane za coś niepociągającego za sobą żadnych konsekwencji. Można by rozumować tym sposobem: poszerzanie się linii wid-

mowych pary rozżarzonej jest spowodowane przez powiększenie się gęstości substancji promieniującej i przez podwyższenie temperatury. W danym zaś przypadku, pod wpływem magnesu zmienia się niewątpliwie zarys płomienia (jak to łatwo dostrzedz), stąd zmienia się zapewne temperatura, a być może również i gęstość pary. Stąd więc możnaby się skłaniać do wytlómaczenia zjawiska w sposób powyższy.

7. Nie tak łatwo wytlómaczyć inne doświadczenie. ⁷⁾ Rurka porcelanowa, pokryta polewą wewnątrz i zewnątrz, jest umieszczona poziomo pomiędzy biegunami, przyczem oś jej jest prostopadła do linii łączącej bieguny. Średnica wewnętrzna rurki wynosi 18 mm., a średnica zewnętrzna — 22 mm. Długość rurki jest równa 15 cm. Do każdego końca rurki są przyśrubowane czapeczki; te czapeczki są zamknięte z jednego końca płytkami szklanymi równoległociennymi i otoczone małymi chłodnicami. Tym sposobem, zapomocą prądu wody czapeczki miedziane i płytki szklane mogą być utrzymane w temperaturze dość niskiej, choć rurka porcelanowa jest rozżarzona. W sąsiedztwie płytek szklanych są przymocowane do miedzianych czapeczek boczne rurki, zaopatrzone w krany. Zapomocą szerokiego palnika Bunsenowskiego rurka mogła być rozżarzana na długości 8 cm. Światło lampy elektrycznej, umieszczonej z boku w odległości około 2 metrów od elektromagnesu, w celu uniknięcia zakłócającego działania tego ostatniego na łuk, przepuszczano przez rurę zapomocą zwierciadła metalowego. Widmo łuku było wytwarzane zapomocą siatki. Okular ustawiono na ostrość linii *D*. Można to skutecznie bardzo dokładnie, gdyż po środku jasnych linii *D* często widać wąskie linie odwrócone. Wówczas wprowadzano do środka rurki kawałek sodu. Zapala się płomień Bunsenowski, i temperatura zaczyna się podnosić. Zabarwiona para zaczyna zaraz napełniać rurkę, przyczem z początku jest fioletowa, potem — koloru niebieskiego i zielonego, wreszcie staje zupełnie niewidzialna dla gołego oka. Absorbcyja zmniejsza się niezwłocznie gdy się temperatura podniesie. Asorbcyja jest specjalnie silna w okolicy linii *D*. W końcu widzialne są dwie ciemne linie

D. W tym momencie przysuwa się blisko do rurki bieguny elektromagnesu; ich odległość wynosi teraz około 24 mm. Linie absorbcyj są teraz dość ostre na większej części swej długości. U góry, gdzie obserwowano widmo niżej leżącej, gęściejszej pary, były one grubsze. Bezpośrednio po zamknięciu obwodu linie poruszają się i są czarniejsze z wyglądu; jeżeli przerwać prąd, nabierają niezwłocznie swej pierwotnej ostrości. Doświadczenie mogło być powtórzone dużo razy, dopóki cały sól nie zniknął. Znikanie sodu należy przypisać głównie oddziaływaniu chemicznemu pomiędzy nim a polewą rury. W dalszych doświadczeniach używano przeto rurek niepolewanych.

Zarzut, że i w tym ostatnim przypadku rozszerzanie się linii mogło pochodzić z różnicy gęstości i temperatury różnych warstw pary sodu, odpiera autor zapomocą nowego doświadczenia z rurką węższą, ogrzewaną zapomocą dmuchawki, gdzie zjawisko optyczne miało te same cechy charakterystyczne, choć różnica temperatur w różnych miejscach rurki była wykluczona.

15. Bieg rozumowania, o którym wspomniano w § 1, a które mnie naprowadziło na poszukiwanie wpływu magnetyzmu, był zrazu następujący: — przypuśćmy, że prawdziwą jest hipoteza, iż w polu magnetycznym zachodzi ruch obrotowy eteru, przyczem oś obrotu ma kierunek sił magnetycznych (Kelvin i Maxwell), i że mamy prawo wyobrażać sobie, że promieniowanie światła jest spowodowane przez ruch atomów, poruszających się naokoło środka ciężkości molekuly po orbitach różnego rodzaju (załóżmy gwoli prostoty, że—po kołach); wówczas okres lub, co na jedno wychodzi, czas, potrzebny do zakreślenia obwodu tych kół, będzie określony przez siły działające pomiędzy atomami, i wówczas odchylenia w obie strony od okresu normalnego nastąpią wskutek wpływu sił zakłócających, działających pomiędzy eterem i atomami. Tym sposobem znak odchylenia będzie określony przez kierunek ruchu z punktu widzenia obserwatora, patrzącego wzdłuż linii sił. Odchylenie będzie

tem większe, im bardziej płaszczyzna koła zbliża się do pozycyi prostopadłej względem linii sił.

.....

17. Zdawało mi się, że prawdziwe objaśnienie zmiany okresu pod wpływem magnetyzmu wynika z teoryi Prof. Lorentz'a. *)

W teoryi tej przypuszcza się, że we wszystkich ciałach znajdują się małe cząsteczki o określonej masie, naładowane elektrycznością, i że wszystkie zjawiska elektryczne zależą od układu i od ruchu tych „jonów“, i że drgania świetlne są drganiami tych jonów. ⁸⁾ Wówczas ładunek, układ i ruch określają całkowicie stan eteru. Tak zwany jon, poruszając się w polu magnetycznym, podlega siłom mechanicznym w rodzaju wyżej wspomnianych, i te muszą tłumaczyć zmianę okresu. Prof. Lorentz, któremu zakomunikowałem te rozważania, niezwłocznie poinformował mnie łaskawie, jakim sposobem, podług teoryi jego, należy obliczać ruch jonu w polu magnetycznym i wskazał mi, że, jeżeli tłumaczenie wynikające z jego teoryi, jest prawdziwe, to brzegi linii widmowych powinny być spolaryzowane po kole. Wielkość poszerzania mogłaby wówczas być użyta do określenia stosunku pomiędzy ładunkiem i masą, które w tej teoryi należy przypisać cząsteczce, wysyłającej drgania świetlne.

Znalazłem, że doświadczenie potwierdza całkowicie wyżej wspomniany nadzwyczaj godny uwagi wniosek Prof. Lorentz'a, dotyczący stanu polaryzacyi w liniach magnetycznie poszerzonych. ⁹⁾

.....

25. Ponieważ magnesowanie linii widmowych może być wytłumaczone w świetle teoryi Prof. Lorentz'a, przeto dalsze rozpatrzenie teoryi tej staje się specjalnie pociąga-

*) Lorentz, La théorie électromagnétique de Maxwell. Leyde, 1892; i Versuch einer Theorie der electrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern. Leiden 1895.

jącem. Szereg dalszych kwestyi sam się już nasuwa. Zbadanie ruchu jonów w różnych substancjach, w różnych warunkach temperatury i ciśnienia, przy zmiennem natężeniu namagnesowania, wydaje się nader obiecującym. Dalsze badanie musi również rozstrzygnąć, w jakim stopniu wielkie siły magnetyczne, które podług pewnych uczonych istnieją na powierzchni słońca, mogą zmieniać jego widmo. ¹⁰⁾

Doświadczenia opisane były wykonane w Laboratorium Fizycznym w Leydzie, którego dyrektorowi, Prof. Kammerlingh Onnes'owi, wielce jestem obowiązany za stałe zainteresowanie niniejszym przedmiotem.

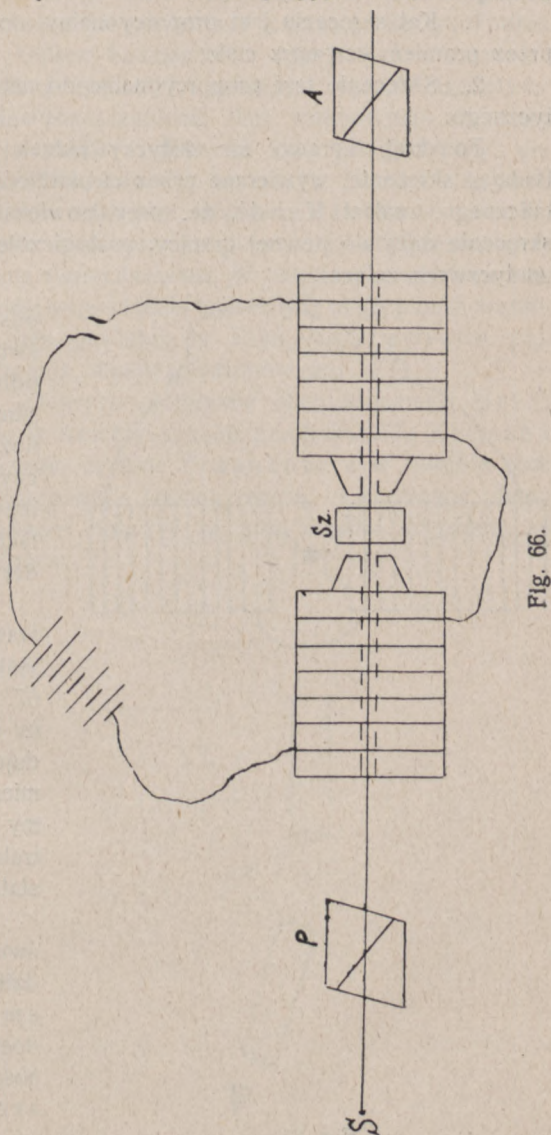
Amsterdam, Stycz. 1897.

U W A G I.

¹⁾ (Str. 382). Pryzmat Nichoła przyjęto nazywać krócej nikolem.

²⁾ (Str. 382). Obecnie powtarzamy zazwyczaj doświadczenie Farada'y'a przy następującym układzie przyrządów (fig. 66). Światło ze źródła *S* przechodzi kolejno przez 2 nikole. Na drodze promieni jest umieszczony elektromagnes, zaopatrzony w kanał, który biegnie w kierunku linii sił. Po między biegunami elektromagnesu znajduje się badane ciało, np. szkło (sz. na fig. 66).

³⁾ (Str. 383). Barwy powstają tu wskutek dyspersji w skręcaniu płaszczyzny polaryzacji, to jest wskutek niejednakowego skręcania promieni barw różnych; jeżeli mamy do czynienia ze skręcaniem pra-



wem, to obrót nikola wprawo usuwa promienie niebieskie, a obrót wlewo — promienie czerwone.

⁴⁾ (Str. 384). Późniejsze badania potwierdziły wyniki, otrzymane przez Faraday'a. Skręcenie w ciałach diamagnetycznych podlega dwom prawom:

1. Kąt skręcenia jest proporcjonalny do drogi przebieganej przez promień wewnątrz ciała;

2. Skręcenie jest proporcjonalne do natężenia pola magnetycznego.

To drugie prawo nie dotyczy jednak ciał magnetycznych. Badając skręcenie, wywierane przez cieniutkie warstewki żelaza metalicznego, znalazł Kundt, że, przy powiększaniu natężenia pola, skręcenie dąży do pewnej granicy, analogicznie do własności magnetycznych żelaza.

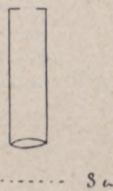
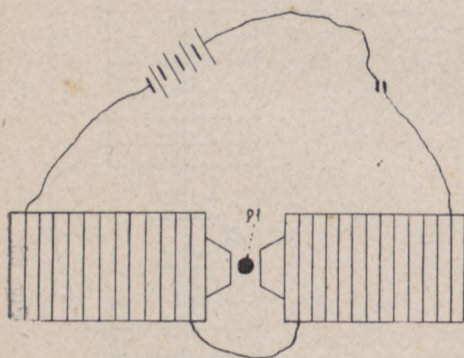


Fig. 67.

⁵⁾ (Str. 385). Kerr odkrył w roku 1877, że światło spolaryzowane, odbite od zwierciadła silnie namagnesowanego, doznaje skręcenia płaszczyzny polaryzacji o kąt niewielki. W szczególności zjawisko jest nader zawile.

⁶⁾ (Str. 386). Ze-stawienie przyrządów jest wskazane na fig. 67. Pomiedzy biegunami elektromagnesu znajduje się zabarwiony płomień *Pl*. Skierujemy nań przyrząd spektralny, zaopatrzony w siatkę dyfrakcyjną *s. d.*

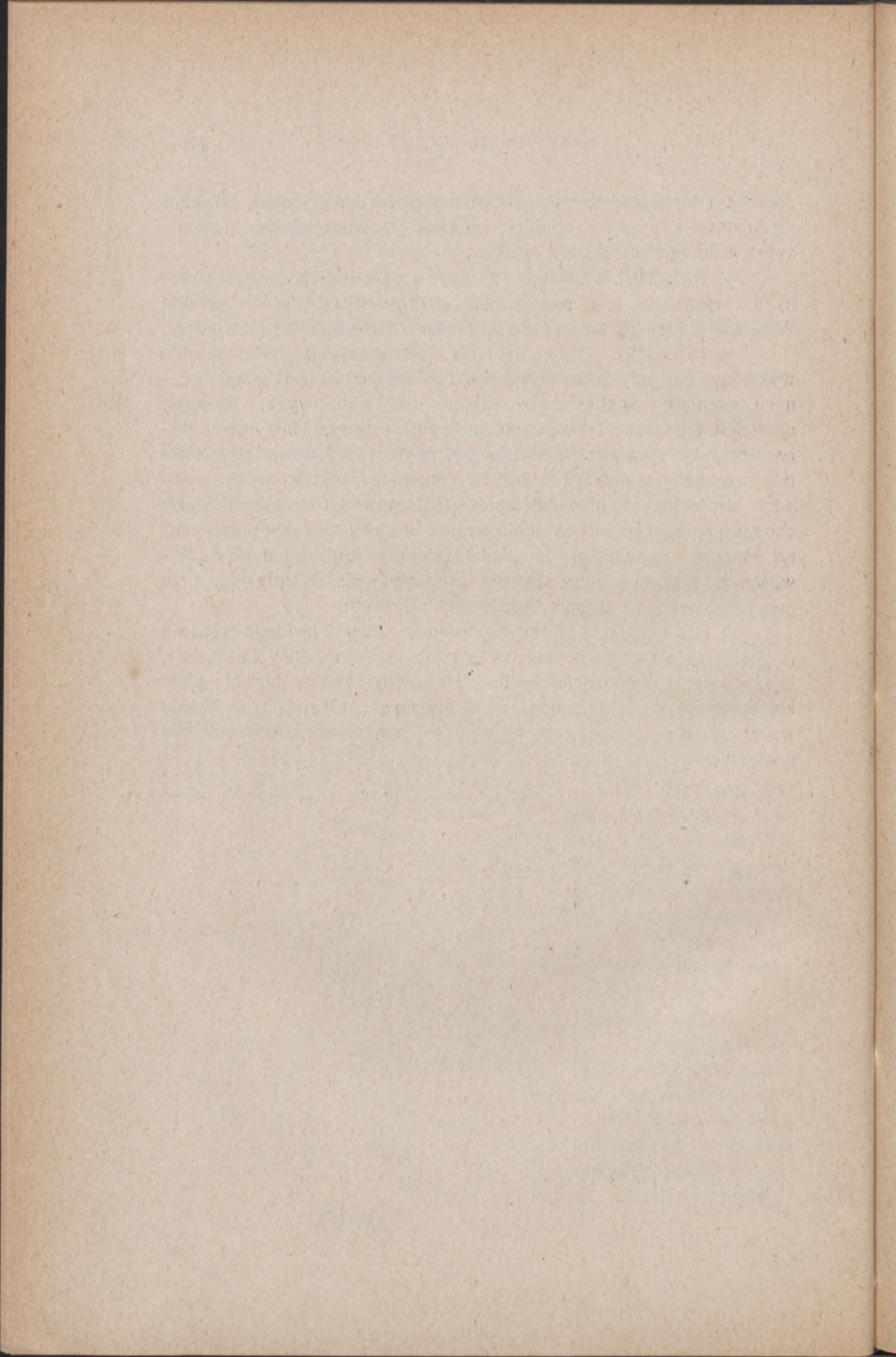
⁷⁾ (Str. 387). W doświadczeniu tem chodziło o zjawisko Zeemana odwrotne, które dostrzegamy w widmie absorbcyjnym, kiedy poszczególne prążki

absorbcyi doznają rozszczepienia. Mamy tu bardzo ciekawy przykład zastosowania prawa o ścisłym związku pomiędzy zdolnością emisyjną a zdolnością absorbcyjną.

⁸⁾ (Str. 389). Zjawisko Zeeman'a, podług poglądów obecnych, wywołane jest przez ruch elektronów, a nie — jonów. W końcu ubiegłego stulecia nie odróżniano jeszcze ściśle tych pojęć.

⁹⁾ (Str. 389). Dalsze badania nad zjawiskiem Zeeman'a wykazały, że, przy silnej dyspersyi i potężnych polach magnetycznych, zachodzi zupełne rozszczepienie linii widmowych. W ciągu ostatnich kilkunastu lat zebrano olbrzymi materiał faktyczny, dotyczący tego zjawiska. Okazało się, że teoria Lorentz'a, która tak świetnie przewidywała całkowity przebieg zjawiska w przypadkach najprostszych, nie zdaje sprawy z danych doświadczenia, kiedy chodzi o rozszczepienia skomplikowane. W chwili obecnej niema teorii, któraby w zupełności odpowiadała faktom. Nie ulega jednak wątpliwości, że mamy w tem zjawisku do czynienia z wpływem pola magnetycznego na drgania układu elektronowego.

¹⁰⁾ (Str. 390). Odkrycie astronoma amerykańskiego Hale'a (r. 1908) potwierdziło w świetny sposób przepowiednię Zeeman'a. Hale wykrył mianowicie, że linie Fraunhofer'a w obrębie plam słonecznych są rozszczepione i spolaryzowane; na podstawie obserwacyi udało mu się nawet obliczyć w przybliżeniu natężenie pól magnetycznych na słońcu.



JONY I ELEKTRONY.

(O budowie materyi i o strukturze elektryczności)

OPRACOWAŁ ST. LANDAU.

JOHN F. ELLIOTT

OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

BERKELEY, CALIF.

WSTĘP.

Wspaniałe pod względem zewnętrznym zjawiska wyładowania elektryczności w gazach rozrzedzonych stały się punktem wyjścia dla przewrotu w poglądach, jaki został dokonany w fizyce teoretycznej ostatnich dwu dziesięcioleci. W roku 1869 odkrył Hittorf w rurkach próżniowych nowy rodzaj promieni, biegnących po linii prostej od strony katody. Niezależnie od Hittorfa badał te promienie William Crookes. (1879). Crookes wytworzył sobie na naturę promieni tych oryginalny pogląd: widział w nich nowy, czwarty rodzaj materii, subtelniejszy od trzech rodzajów nam znanych (Ob. str. 401 i nast.). Dziś pogląd Crookes'a w znacznej mierze podzielamy. Świetne doświadczenia Crookes'a spopularyzowały niezmiernie zjawiska przezeń zbadane, lecz nie przyczyniły się bynajmniej do rozpowszechnienia jego poglądów teoretycznych, które nazbyt odbiegały od idei ówczesnych o zjawiskach elektromagnetycznych.

Dalsze badania nad przechodzeniem elektryczności przez gazy wciąż nasuwały myśl o atomistycznej strukturze elektryczności; myśli te wypowiediano naogół ogólnie; pod wpływem wielkich tryumfów idei Maxwellowskich sądzono, że nabój elektryczny jest czemś zgoła fikcyjnym; z drugiej strony starano się w czasie owym uwolnić naukę od wszelkich hipotez atomistycznych. W zbiorze niniejszym znajdzie czytelnik doniosłą rozprawę Schustra (ob. str. 415), w której autor, wypowiadając się za atomistyczną strukturą elektryczności, uważa za konieczne chronić się za autorytet Helmholtz'a. Praca ta ilustruje doskonale ogólny nastrój umysłów w tej epoce.

Przełomowym był rok 1895. Odkrycie Röntgen'a, do dziś, o ile chodzi o naturę promieni X, dość zagadkowe, stało się bodźcem dla badań szkoły J. J. Thomson'a nad przewodnictwem elektryczności w gazach. Powstaje doniosłe pojęcie jonu gazowego.

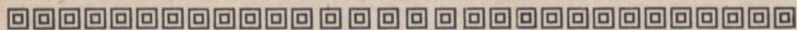
Od badania gazów, będących pod ciśnieniem zwykłym, przechodzi Thomson do badania gazów rozrzedzonych. Mierząc odchylenie promieni katodowych w różnych gazach tworzy zasadnicze pojęcie elektronu.

Równocześnie nasuwa się pojęcie elektronu i na polu badań optycznych. W roku 1896 wykrywa Zeeman rozszczepienie linii widmowych w polu magnetycznym. Odkrycie jego (ob. str. 385) stanowi potwierdzenie teorii elektromagnetycznej Lorentz'a, która w drganiu części składowych atomu, elektronów, widziała przyczynę rozszczepienia i pochłaniania światła.

Nie koniec na tem. Zakres zjawisk, do których daje się stosować pojęcie elektronu, rozszerza się wciąż. Pobudzony odkryciem Röntgena, bada Becquerel fosforescencję soli uranowych i wykrywa ich promieniotwórczość (1896). Państwo Curie, badając promieniowanie rud uranowych, odkrywają rad i polon i dają podstawy nowej gałęzi wiedzy (1898).

Promienie elektryczne, wysyłane wciąż przez ciała promieniotwórcze, okazują się w części złożone z elektronów. Materyalność promieniowania nasuwa myśl o ciągłym rozpadzie atomów i ich przekształcaniu się.

Pojęcie elektronu, a wraz z niem i teoria elektromagnetyczna zjawisk, znajduje dziś wciąż nowe zastosowania w przeróżnych dziedzinach fizyki. Jeżeli jednak będziemy chcieli mówić o wszechogarniającej teorii elektronowej, to będziemy musieli zgodzić się, że teoria taka pod względem doskonałości swej daleka jest od wzorów fizyki klasycznej. Nawet stałe fizyczne jonów i elektronów nie są jeszcze określone z dostateczną ścisłością. W interpretacji zjawisk piętrzą się jeszcze trudności. Należy wiele oczekiwać od badań lat przyszłych, które niewątpliwie otworzą dalsze horyzonty myślenia.



WILLIAM CROOKES.

Crookes urodził się w Londynie w r. 1832. Już w roku 1852 został profesorem chemii w Kollegium Królewskim w Londynie. Następnie do roku 1859 był profesorem w Chester. W tym roku założył pismo *Chemical News* i odtąd mieszka w Londynie, jako człowiek prywatny, nieobarczony pracą urzędową.

Najdonioślejsze dla nauki znaczenie miały badania Crookes'a w dziedzinie analizy widmowej i w dziedzinie przechodzenia elektryczności przez gazy rozrzedzone. W roku 1861 odkrył Crookes pierwiastek tal (thallium), badając spektroskopowo osady, powstające przy fabrykacji kwasu siarczanego. Do określenia ciężaru atomowego używał Crookes bardzo czułej wagi, umieszczonej w próżni. Przy ważeniach zwrócił on uwagę na silny wpływ, wywierany na wagę przez energię promienistą. Te spostrzeżenia skłoniły go do przedsięwzięcia badań systematycznych nad działaniem mechanicznem energii promienistej. Od wagi zwykłej przeszedł Crookes stopniowo do wagi skręceń, od tej ostatniej — do radiometru. Te badania Crookes'a (1873 — 1876) mają znaczenie epokowe. Stanowczo twierdzić można, że wykonane w wieku XX świetne prace doświadczalne, dotyczące ciśnienia światła, były możliwe jedynie dzięki drodze, którą uprzednio utworował był Crookes. Skłaniał się on ku przypuszczeniu, że siły radiometryczne są wywierane przez energię promienistą bezpośrednio. Jednak późniejsi badacze (przedewszystkiem A. Schuster) wykazali, że radiometr jest siedliskiem sił wewnętrznych, że energia promienista oddziaływa tu za pośrednictwem gazu, pozostającego w bańce.

Bezpośrednio po badaniach nad siłami radiometrycznymi przeszedł Crookes do doświadczeń, dotyczących przechodzenia elektryczności przez gazy rozrzedzone. Odkrywa on promienie katodowe i wyjaśnia ich własności szeregiem przepięknych doświadczeń, które zapewniły tej dziedzinie wiedzy szeroką popularność. Co do odkrycia promieni pierwszeństwo należy się niewątpliwie Hittorffowi, który opisał te zjawiska o 10 lat wcześniej; lecz co do wyjaśnienia ich natury położył Crookes zasługi pierwszorzędne. Wyprzedził on społeczeństw o lat kilkadziesiąt. Jego pogląd, uważany prawie do końca wieku XIX za fantastyczny pomysł, jest dziś, z niewielkimi modyfikacjami, naszym poglądem. I my dziś mniemamy że w promieniach katodowych mamy potok cząstek materialnych, znajdujących się w stanie różnym od zwykłych stanów skupienia: są to swobodne elektrony.

Jest Crookes w nauce indywidualnością wybitną, nawskroś oryginalną. Zespala on mistycyzm i silnie rozwiniętą wyobraźnię twórczą z wybitnym talentem eksperymentatorskim i darem ścisłego analizowania zjawisk. Jak sam mówi, w badaniu swem dotyka najchętniej „mrocznego królestwa pomiędzy wiadomem i niewiadomem“..., sądzi, że: „największe zagadnienia naukowe przyszłości znajdą swe rozstrzygnięcie na tej granicy, a nawet poza nią. Tam... znajdują się ostatnie realności, subtelne, cudne, doniosłości niezmiernej.“

Jest Crookes jednym z nielicznych w świecie naukowym zwolenników spirytyzmu.

O materyi promienistej,

odczyt wygłoszony w Sheffield, 22-go sierpnia 1879 w Brytyjskiem Stowarzyszeniu dla postępów nauki.

Przez P. WILLIAMA CROOKESA,

Członka Londyńskiego Towarzystwa Królewskiego. *)

Aby dobrze zrozumieć tytuł tego odczytu, należy przenieść się myślą w epokę oddaloną od nas więcej, niż o lat sześćdziesiąt,—do roku 1816. Faraday, w wieku 24 lat zaledwie, na początku swej karyery, prosty student jeszcze, lecz już zapalony eksperymentator, miał w tym czasie szereg wykładów o własnościach ogólnych materyi, i jeden z nich nosił nagłówek godny uwagi: „O materyi promienistej“. Notatki wielkiego fizyka, dotyczące tego wykładu, znajdują się w Dziele D-r Bence Jones'a: „Życie i listy Faraday'a“. Zacytuję tu ustęp, gdzie on używa po raz pierwszy wyrażenia „materya promienista“.

Jeżeli wyobrazimy sobie stan o tyle daleki od stanu lotnego, o ile ten ostatni jest wyższy od stanu ciekłego, jeżeli weźmiemy pod uwagę obszerność zmiany w miarę, jak się przejście uwydatnia, i jeżeli wówczas będziemy w stanie wytworzyć sobie jakiegokolwiek wyobrażenie o tej przemianie, to, być może,

*) Podług tekstu umieszczonego w zbiorze „Ions, électrons, corpuscules“, pp. H. Abraham'a i P. Langevin'a. Paryż, Gauthier — Villars, 1905, t. I, str. 113.

nie odbiegniemy daleko od matery promienistej, i, podobnież, jak w ostatniem przekształceniu zginęła pewna liczba własności, tak i tu zginęłaby liczba jeszcze większa.

Faraday'a pochłaniała widocznie ta spekulacya, daleko sięgająca, gdyż widzimy, że trzy lata później, w r. 1819 daje on nowe dowody i nowe argumenty dla utrwalenia tej zadziwiającej hipotezy. Jego notatki są teraz obszerniejsze i pokazują, że w tym trzyletnim odstępie czasu rozmyślał on dużo i głęboko nad tą wyższą formą materyi. Zwraca on z początku uwagę, że materya może być rozpatrywana w czterech różnych stanach, którymi są: stan stały, ciekły, lotny i promienisty, a te modyfikacye materyi zależą od różnic w istotnych własnościach każdego ze stanów. Przypuszcza on, że istnienie materyi promienistej jeszcze nie jest dowiedzione, i wówczas dowodzi prawdopodobieństwa jej istnienia szeregami pomysłowych argumentów, opartych na analogii. *)

*) „Mogę teraz zwrócić uwagę na ciekawy postęp we własnościach fizycznych, który towarzyszy zmianie postaci, co, być może, wystarcza, aby w wynalazczym i żarliwym badaczu wywołać w znacznym stopniu wiarę w to, że forma promienista należy wraz z innymi formami do klasy zmian, o których wspomniałem.

„W miarę, jak się wznosimy od stanu stałego do stanów ciekłego i lotnego, własności fizyczne zmniejszają się pod względem liczebności i różnorodności; każdy stan traci jakąś własność, należącą do stanu poprzedniego. Kiedy ciała stałe przemieniają się w cieczy, z konieczności znikają różnice w twardości i miękkości. Formy krystaliczne i inne ulegają zniszczeniu. Nieprzezroczystość i barwność ustępują często miejsca wyglądowi bezbarwnemu i przezroczystemu, jednocześnie powszechny ruch ogarnia cząsteczki.

Kiedy pójdziemy dalej, aż do stanu gazowego, zauważymy, że zostaje zniszczona jeszcze większa liczba cech charakterystycznych ciał. Wielkie różnice w ich wadze znikają prawie; różnice barwy, które jeszcze pozostawały, w końcu również giną. Wszystkie stają się przezroczyste i sprężyste. Tworzą teraz jeden szereg substancyi, i zmiany w twardości, nieprzezroczystości, barwie, sprężystości i formie, które czynią liczbę ciał stałych i cieczy niemal nieskończoną, są teraz zastąpione kilkoma lekkimi zmianami w wadze i kilkoma nieznacznymi odmianami barwy.

Gdyby nas spytano na początku tego wieku, co to jest gaz, odpowiedzielibyśmy, że to jest materya rozszerzona, do pewnego stopnia nie dająca się wyczuć dotykem, chyba kiedy jest ożywiona gwałtownym ruchem, materya niewidzialna, która ani sama przez się nie przybiera formy określonej, jak to czynią ciała stałe, ani też nie da się do niej doprowadzić, — nie tworzy kropeł jak ciecze, lecz zawsze jest gotowa rozszerzać się, kiedy się jej nie przeciwstawia żadnej przeszkody, i — kurczyć się, kiedy jest poddana ciśnieniu. To są główne własności, które przypisywano gazom temu lat sześćdziesiąt. Poszukiwania spólczesne znacznie rozszerzyły i zmodyfikowały poglądy nasze na budowę tych cieczy sprężystych. Uważamy teraz, że gazy składają się jakby z nieskończonej liczby małych cząsteczek lub molekuł które poruszają się nieustannie we wszystkich kierunkach z wszelkimi prędkościami. Ponieważ te cząsteczki są nadzwyczaj liczne, wynika stąd, że żadna cząsteczka nie może się poruszyć cokolwiek dalej w kierunku jakimkolwiek, aby nie dotknąć jakiejś innej cząsteczki. Jeżeli jednak usuniemy powietrze lub gaz, zawarty w naczyniu zamkniętem, liczba cząsteczek zmniejsza się, i odległość, którą jedna z nich może przebywać, nie wchodząc w zetknięcie z inną, powiększa się, gdyż przeciętna długość drogi swobodnej jest w stosunku odwrotnym do liczby cząsteczek obecnych. Im dłużej trwa usuwanie gazu, tem bardziej powiększa się przeciętna długość drogi, którą może przebiec cząsteczka, zanim będzie miało miejsce zderzenie, lub, inaczej mówiąc, im dłuższą jest droga swobodna, tem bardziej są zmienione

„Ci więc, którzy przyjmują formę promienistą materii, nie widzą żadnej trudności, lecz raczej argument na ich korzyść. Osoby te wskazują nam na stopniowe zmniejszanie się w materii jej własności, zmniejszanie się, które możemy oszacować w miarę, jak materya przebiega skalę form, i osoby te byłyby zdziwione, gdyby to zjawisko miało ustać wraz z stanem lotnym. Zwracają one uwagę na to, że natura czyni coraz większe wysiłki przy każdym kroku zmian, i sądzą zatem, że zmiany powinny być niezwykle wielkie przy przejściu od formy lotnej do formy promienistej“. (Życie i listy Faraday'a, t. I str. 308).

własności fizyczne gazu lub powietrza. Tym sposobem, przy pewnym stopniu rozrzedzenia, stają się możliwe zjawiska radiometryczne; ¹⁾ posuwając rozrzedzenie jeszcze dalej lub, co na jedno wychodzi, zmniejszając liczbę cząsteczek w danej przestrzeni i powiększając ich drogę swobodną, można otrzymać inne wyniki, na które chcę zwrócić waszą uwagę. Te zjawiska są tak odmienne od wszystkiego, co zachodzi w powietrzu lub w gazie pod ciśnieniem zwykłym, iż skłonni jesteśmy przyjąć, że znajdujemy się wobec materji w czwartym stanie lub warunkach równie odległych od stanu lotnego, jak stan lotny od ciekłego.

Przeciętna drogi swobodnej. — Materja promienista.

Od dawna już mniemam, że pewne zjawisko dobrze znane i obserwowane w rurkach, gdzie wytworzono próżnię, jest ściśle związane ze zjawiskami, dotyczącymi drogi swobodnej cząsteczek. Kiedy obserwujemy biegun ujemny w czasie, gdy wyładowanie szpulki indukcyjnej przechodzi przez rurkę próżniową, widzimy naokoło bieguna ciemną przestrzeń. Stwierdzamy, że ta ciemna przestrzeń powiększa się i zmniejsza w miarę, jak się zmienia stopień rozrzedzenia, podobnież, jak się powiększa i zmniejsza przeciętna wartość drogi swobodnej cząsteczek. W miarę, jak musimy przypisać jednej wielkości wartości coraz większe, widzimy w rzeczywistości, że druga powiększa swe rozmiary i, jeżeli próżnia nie jest dostateczna, aby cząsteczki nabrały wielkiego pędu przed zderzeniem, to przechodzenie elektryczności pokazuje, że przestrzeń ciemna redukuje się do bardzo małych rozmiarów. Wnioskujemy w sposób naturalny, że przestrzeń ciemna jest przeciętną drogą swobodną cząsteczek gazu pozostającego, który to wniosek potwierdza doświadczenie.

Będę się starał uczynić przestrzeń ciemną widoczną dla wszystkich obecnych. Oto rurka (fig. 68), zaopatrzona po środku w biegun w postaci krążka metalowego i w inne

bieguny na końcach. Biegun środkowy uczyniono ujemnym, dwa bieguny krańcowe, razem połączone, tworzą koniec dodatni. Przestrzeń ciemna będzie się znajdować po środku. Kiedy stopień rozrzedzenia nie jest znaczny, przestrzeń ciem-

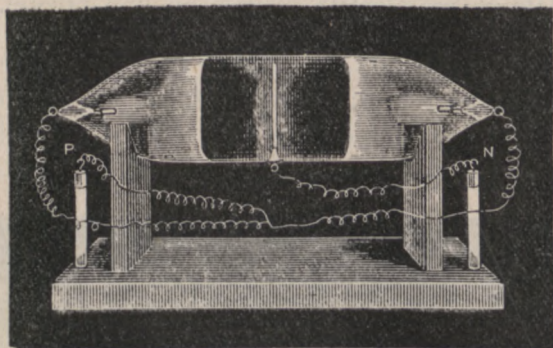


Fig. 68.

na rozpościera się bardzo mało po każdej stronie bieguna ujemnego środkowego. Kiedy rozrzedzenie w rurce jest dobre, jak to ma miejsce w przypadku rurki, która znajduje się przed wami, to, gdy przepuszczam prąd cewki, przestrzeń ciemna rozpościera się na całą prawie z każdej strony.

Materya promienista wzbudza nader silną fosforescencyę wszędzie, gdzie uderza.

...Po dyamencie rubin jest kamieniem najbardziej uwagi godnym dla swej fosforescencyi. W tej rurce (fig. 69) znajduje się kolekcya rubinów w formie kamyczków. Gdy tylko przejdzie iskra induk-

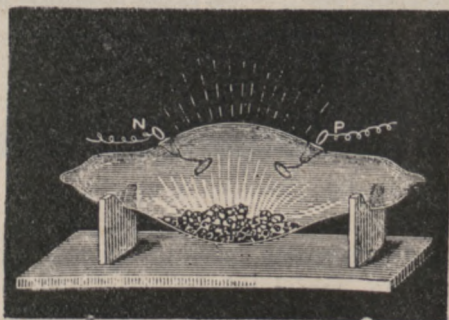


Fig 69.

cyjna, widzimy, jak te rubiny błyszczą jaskrawą piękną czerwienią, jak gdyby się żarzyły.

Materya promienista biegnie po linii prostej.

Mam tu dwie kule tej samej formy o identycznym rozmieszczeniu biegunów; jedyna różnica, która istnieje pomiędzy temi kulami, dotyczy stopnia ich rozrzedzenia. Jedna jest rozrzedzona do ciśnienia kilku milimetrów rtęci, ciśnie-

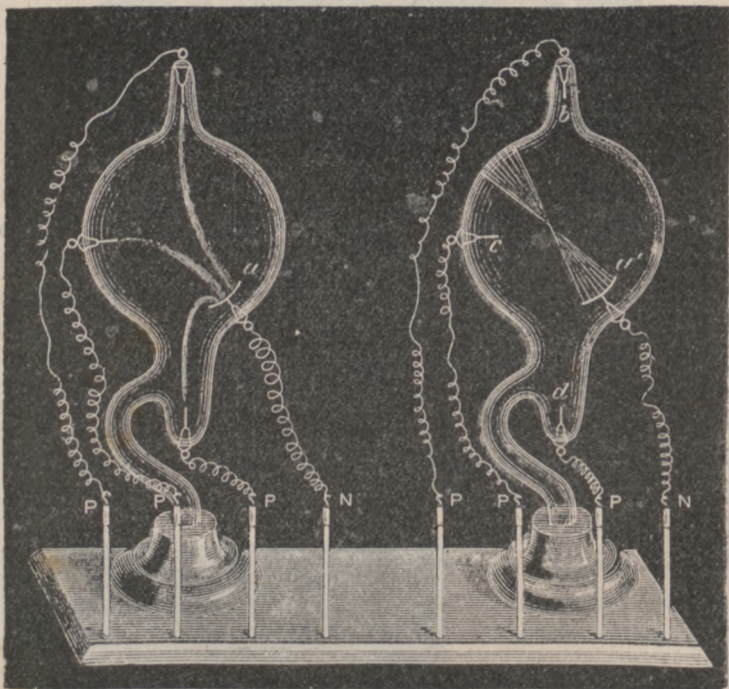


Fig. 70.

nia zdolnego dać zwykle zjawiska świetlne; druga — rozrzedzona mniej więcej do jednej milionowej atmosfery. Połączę z początku z cewką indukcyjną kulę mało rozrzedzoną *A*; zachowując wciąż ujemny znak bieguna *a*, będę

łączył biegun dodatni z innymi biegunami, w które kula jest zaopatrzona. Widzicie, że w miarę, jak zmieniam pozycję bieguna dodatniego, zmienia się linia światła fioletowego, które łączy dwa bieguny, gdyż prąd elektryczny wybiera zawsze drogę najkrótszą pomiędzy dwoma biegunami i przesuwa się w kuli w miarę, jak zmieniam pozycję drutów.

Oto rodzaj zjawiska, który otrzymujemy w próżni zwykłej. Sprobuje teraz tego samego doświadczenia z kulą *B*, której rozszerzenie jest doprowadzone do bardzo wysokiego stopnia, i, jak poprzednio, umieszczę z boku w *a'* biegun ujemny, mając biegun dodatni w *b*. Zauważcie, jak duża jest różnica w wyglądzie wyładowania obecnym i tym, który dawała kula poprzednia. Biegun ujemny ma formę miseczki lub niegłębokiej czarki. Złożone z cząstek promienie, wychodzące z czarki, krzyżują się po środku kuli i stamtąd, rozchodząc się, padają na stronę przeciwległą, gdzie wytwarzają obszar kolisty światła fosforescencyjnego zielonej. W miarę, jak obracam kulę, widzicie miejsce lub powierzchnię zieloną na szkle. Obserwujcie teraz: usuwam drut dodatni z części górnej i łączę go z biegunem bocznym *c*. Miejsce lub mała powierzchnia zielona, pochodząca z rozbieżnego ogniska ujemnego, wciąż pozostaje. Czynie teraz dodatnim biegun *d*, umieszczony najniżej, a powierzchnia zielona pozostaje tam, gdzie była na początku, bez najmniejszej zmiany w pozycji lub natężeniu.

Mamy tu inną własność materii promienistej. W próżni zwykłej pozycja bieguna dodatniego jest nader ważna, podczas, gdy w próżni, bardzo daleko posuniętej, pozycja bieguna dodatniego jest bez znaczenia: zjawiska zdają się zależeć całkowicie od bieguna ujemnego. Jeżeli biegun ujemny znajduje się w na prostej, poprowadzonej od bieguna dodatniego, wszystko odbywa się normalnie; lecz jeżeli biegun ujemny znajduje się w pozycji zupełnie przeciwnej, niema to żadnego wpływu: materia promienista wybiega z bieguna ujemnego tym samym sposobem po linii prostej.

Materya promienista, zatrzymana przez materyą stałą,
rzuca cień.

Materya promienista wychodzi z bieguna po linii prostej i nie tylko przenika wszystkie części rurki i napelnia ją światłem, jak w przypadku, gdy rozrzedzenie jest mniej silne; lecz tam, gdzie droga jest swobodna, pary uderzają o ekran i wywołują fosforescencyę, tam zaś, gdzie na drodze stoi materya stała, promienie są zatrzymywane przez tę materyę stałą, i na ekran jest rzucany cień. W tej rurce o formie gruszki (fig. 71) biegun ujemny *a* znajduje się na końcu zwężonym. Po środku znajduje się krzyż *b*, wygięty z blachy glinowej tak, iż promienie, wychodzące z bieguna ujemnego i wyrzucane wzdłuż rury, będą częściowo przejmowane przez krzyż aluminiowy i rzucają obraz jego na koniec półkulisty rurki, który fosforyzuje. Puszczam prąd, i wszyscy zobaczą czarny cień krzyża na świecącym końcu rurki *cd*. Lecz materya promienista przeszła obok

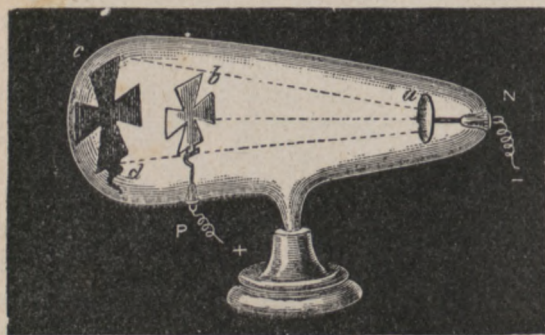


Fig. 71.

przytłumiona. Szkło, jeżeli się tak można wyrazić, zmęczyło się wzbudzoną fosforescencyą. Wskutek tego bombardowania cząsteczkowego powstała zmiana, która przeszkodzi szkłu odpowiedzieć łatwo na nowy bodziec; lecz część, na którą padał cień, nie jest zmęczona, nie wytworzyła ona jeszcze

krzyża glinowego, aby wytworzyć cień, szkło było jakby uderzane młotem i bombardowane tak, iż się stało wyraźnie ciepłe, i jednocześnie w szkłe został wywołany inny skutek: jego wrażliwość została

fosforescencyi i jest zupełnie świeża. Jeżeli zatem przewrócę krzyż, co łatwo mogę uczynić, dzięki pomysłowemu urządzeniu p. Gimmingham'a, i pozwolę tym sposobem promieniom, wychodzącym z bieguna ujemnego, padać w sposób nieprzerwany na koniec bani, to zobaczycie, że czarny krzyż zmienia się nagle na krzyż świecący; gdyż przestrzeń, która jest poza nim, może teraz wytworzyć tylko słabą fosforescencyę, gdy tymczasem część, która była ograniczona czarnym cieniem, zachowuje całą swą zdolność fosforescencyi.

Materya promienista wywiera silne działanie mechaniczne wszędzie, gdzie uderza.

Widzieliśmy, na podstawie ostrego występowania cieniów cząsteczkowych, że materya promienista jest zatrzymywana przez ciała stałe, umieszczone na jej drodze. Jeżeli ciało stałe może być łatwo wprawiane w ruch, uderzenie cząsteczek wyrazi się silnem działaniem mechanicznem. P. Gimmingham sfabrykował mi przyrząd niezmiernie pomysłowy, który, umieszczony w latarni elektrycznej, czyni to działanie mechaniczne widocznem dla całego audytorjum. Składa się on z rurki szklanej, w której próżnia jest posunięta bardzo daleko (fig. 72), i zawiera mały tor o szynach

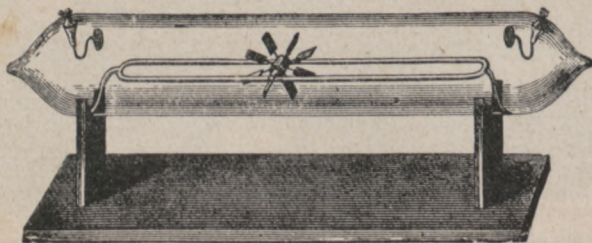


Fig. 72.

szklanych, który przebiega rurkę wzdłuż od jednego końca do drugiego. Oś małego kółka obraca się po szynach, przy czem promienie koła są zaopatrzone w dość duże skrzy-

delka mikowe. Na każdym końcu rurki, cokolwiek powyżej środka, umieszczone są bieguny glinowe w ten sposób, że, gdy uczynimy ujemnym jeden lub drugi, prąd materji wybiega z tego bieguna, skierowując się wzdłuż rurki; uderzając o skrzydełka górne małego koła obraca je i posuwa wzdłuż szyn. Zmieniając bieguny, mogę zatrzymać koło i postać je w kierunku przeciwnym; kiedy zaś nachylam zlekka rurkę, siła impulsu okazuje się dostateczną, aby pchać koło nawet z dołu do góry. *)

*) Uwaga wydawców zbioru „Jons, électrons, corpuscules”. — Sądzimy, iż powinniśmy zacytować tu ustęp z J. J. Thomson'a, wskazujący na niewątpliwie poprawniejsze tłumaczenie zjawiska obserwowanego przez Crookes'a:

„Bardzo prosty rachunek pokaże, iż obracanie się skrzydełek nie może być przypisywane impulsom udzielanym skrzydełkom przez uderzenie cząsteczek. Rzeczywiście, weźmy przypadek, w którymby promienie były dość silne, aby przenieść stosunkowo znaczny prąd 10^{-5} ampera ze znaczną prędkością 10^{10} centymetrów na sekundę. Niech m będzie masą każdej korpuskuły (korpuskułami nazywa Thomson elektrony), N — liczbą korpuskuł, spotykających powierzchnię w ciągu jednostki czasu. Jeżeli korpuskuły odskakują napowrót, zachowując swą prędkość, to impuls (pęd) nadany powierzchni w jednostkę czasu równy jest $2Nm \cdot 10^{10}$. Jeżeli e jest ładunkiem korpuskuły, natężenie prądu jest Ne lub w danym przypadku 10^{-6} C. G. S.; a zatem impuls nadany powierzchni w ciągu sekundy równy jest $2 \frac{m}{e} \times 10^4$ dyn. Otóż $\frac{m}{e} = 10^{-7}$, a więc impuls równy jest $2 \cdot 10^{-3}$ dyn. Dla powierzchni centymetra kwadratowego impuls ten byłby równoważny różnicy ciśnień równej jednej pięćsetmilionowej atmosfery, i jego działanie byłoby zbyt słabe, aby zapomocą niego można było wytłumaczyć obserwowane obracanie się.

Ten ruch pochodzi prawdopodobnie ze zjawiska zupełnie podobnego do zjawiska, które się obserwuje w radiometrze; uderzenie promieni katodowych wywiera zatem ten tylko skutek, że ogrzewa tę stronę skrzydeł, która je odbiera.

Stark e wykazał, że, kiedy ułożymy skrzydełka tak, żeby działanie radiometryczne było zmniejszone, to działanie mechaniczne okazuje się niezmiernie zredukowanem. (J. J. Thomson, Przewodnictwo elektryczności w gazach, Cambridge str. 629, 1906).

Materya promienista jest odchylana przez magnes.

Przechodzę teraz do innej własności materyi promienistej. W tej długiej rurce otrzymano znaczny stopień próżni. Na jednym z końców *a* ma ona biegun ujemny i zawiera bardzo długi ekran fosforyzujący *bc*. Przed biegunem ujemnym znajduje się blaszka mikowa *bd* z otworem *e*, który przy przepuszczaniu prądu wytwarza linię fosforyzującą *ef*, która zajmuje całą długość rurki. Umieszczam teraz ponad rurką silny magnes w formie podkowy. Patrzcie: linia światła *eg* zakrzywia się pod wpływem magnesu i waha się, jakby to czynił giętki pręcik, w miarę przesuwania magnesu do przodu i ku tyłowi.

To działanie magnesu jest nader ciekawe, i, jeżeli je bliżej zbadać, będzie ono mogło wyjaśnić inne własności materyi promienistej. Oto rurka (fig. 73) dokładnie taka sama, lecz zaopatrzona na jednym z końców w małą rurkę, zawierającą ług potasowy; jeżeli ogrzać ten ostatni, to wy-

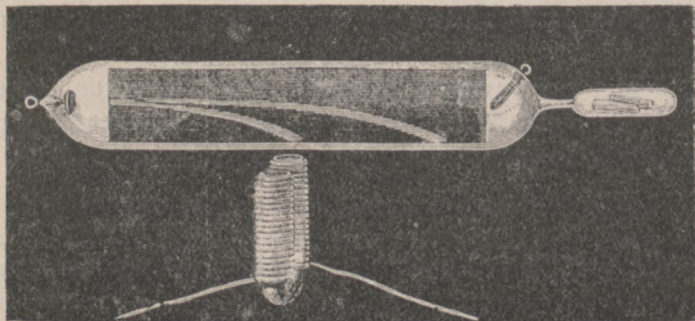


Fig. 73.

woła on lekką zmianę w rozrzedzeniu. Trzymając magnes w formie podkowy poniżej rurki, puszczam prąd indukcyjny, widzicie, że promień materyi promienistej zakreśla swą drogę w formie linii krzywej, którą dostrzegamy na ekranie.

Obserwujcie dobrze formę krzywej. Cząsteczki, wyrzucone z bieguna ujemnego, mogą być porównane z wystrzałem, który daje kartaczownica, nabitą kulami żelaznymi, a magnes, który znajduje się na dole, będzie przedstawiał ziemię, która wskutek grawitacyi zakrzywia drogę pocisku. Tutaj na tym ekranie świetlnym widzicie bardzo dokładny zarys zakrzywionej drogi pocisku. Przypuśćcie teraz, że siła odchylająca pozostaje stała; krzywa, zakreślona przez pocisk, będzie się zmieniała wraz z jego prędkością. Jeżeli nasypać więcej prochu w armatę, prędkość będzie większa i droga prostsza, jeżeli zaś umieścić pomiędzy armatą i celem środowisko gęstsze, stawiające opór, to zmniejszy się prędkość kuli i, co zatem idzie, zmusi się ją do poruszania się po linii o silniej zaznaczonej krzywiźnie; upadnie ona wówczas na ziemię prędzej. Nie mogę znacznie powiększyć wobec was prędkości mego prądu cząsteczek promieniujących, dostarczając swej bateryi więcej prochu; spróbuję jednak uczynić to, iżby doznawały większego oporu w swym przebiegu od jednego końca rurki do drugiego. Ogrzewam potas żrący lampką alkoholową; tym sposobem wprowadzam do rurki nowe ślady gazu. Prąd materyi promienistej natychmiast zaznacza to. Prędkość jest zmniejszona; magnetyzm ma więcej czasu, aby działać na cząsteczki indywidualnie; droga staje się coraz bardziej zakrzywiona dopóty, dopóki me kule molekularne, które uprzednio dobiegały do samego końca rurki, nie upadną, nie przebiegły nawet połowy drogi.

Materya promienista wytwarza ciepło, kiedy się zatrzymuje jej ruch.

Mam tu małą rurkę z biegunem ujemnym w formie odcinka kulistego. Ten odcinek wysyła promienie do ogniska po środku rurki... Mogę uwidocznic żar ogniska, rzucając promienie na kawałek metalu. Ta bańka (fig. 74) jest zaostrzona w biegun ujemny w kształcie czary. Promienie będą zatem koncentrowane w ognisku, gdzie się umieszcza

na stałe kawałek platyny irydowej *b*... Ognisko działa teraz na metal i podnosi jego temperaturę do żaru czerwono-białego. Zbliżam mały magnes; widzicie, że mogę odchylić ognisko ciepła dokładnie w ten sam sposób, jak to czyniłem w innej rurce z ogniskiem świetlnym. Zmieniając pozycję magnesu, mogę zmuszać ognisko do podnoszenia się i opadania, a nawet przesunąć je zupełnie poza metal i przeszkodzić świeceniu tegoż. Usuwam magnes i znów pozwalam cząsteczkom swobodnie działać; metal jest teraz czerwono-biały. Powiększam natężenie iskry; platyna irydowana nabiera blasku prawie nie do zniesienia i w końcu topi się.

.....

Kiedy badamy czwarty stan materii, to wydaje się nam, że uczyniliśmy dla siebie dostępnymi i poddaliśmy swej kontroli małe cząsteczki, które, mając na to dostateczne dane, uważamy za podstawę fizyczną świata.

Widzieliśmy, że w niektórych swych własnościach materia promienista jest również materialna, jak ten stół, podczas gdy w innych własnościach przybiera ona prawie charakter energii promienistej. Dotknęliśmy obecnie granicy, gdzie materia i siła zdają się zlewać jedna z drugą, dotknęliśmy mrocznego królestwa pomiędzy wiadomem i niewiadomem, które zawsze szczególnie mnie pociągało. Ośmielam się mniemać, że największe zagadnienia naukowe przyszłości znajdą swe rozstrzygnięcie na tej granicy, a nawet poza nią. Tam, zdaje mi się, znajdują się ostatnie realności, subtelne, cudowne, doniosłości niezmiernej:

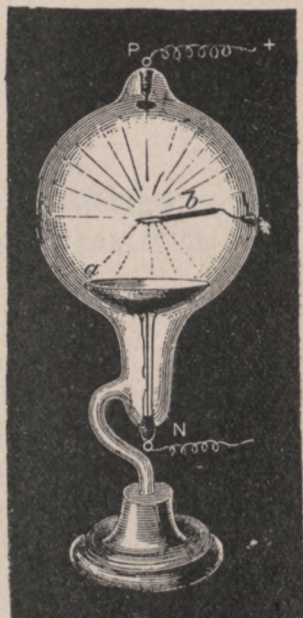


Fig. 74.

Yet all these were, when no Man did them know,
Yet have from wisest Ages hidden beene;
And later Times things more unknowne shall show.
Why then should witlesse Man so much misweene,
That nothing is, but that which he hath seene *)

*) A jednak wszystko to było, gdy żaden Człowiek tego nie znał,
A jednak było ukryte od najmądrzejszych Wieków;
I Czasy późniejsze ukażą rzeczy bardziej nieznane.
Dlaczegoż miałby nierozumny Człowiek tak bardzo błędzić,
Mówiąc, że niema nic, prócz tego, co sam widział?

Wykład Bakeryański. „Wyładowanie elektryczności poprzez gazy.
(Komunikat tymczasowy).“ Przez Artura Schustra Cz. T. K.

Otrzymany i odczytany 20 marca, 1890.

„Jeżeli przyjmiemy hipotezę, że substancje elementarne składają się z atomów, to nie będziemy mogli uniknąć wniosku, że również i elektryczność, tak dodatnia, jak i ujemna, jest podzielona na określone części elementarne, które zachowują się, jak atomy elektryczności.“ — Helmholtz (odczyt Faradayowski).

1. W S T Ę P.

Zjawiska wyładowania elektryczności w gazach budzą w chwili obecnej zainteresowanie szerszego ogółu. Trudno, aby było inaczej; albowiem, choć nasza znajomość przejawów elektryczności wzrasta we wszystkich kierunkach, nie możemy być pewni poprawności naszych tłumaczeń, o ile tajemnicza postać wyładowania w gazach pozostaje niewyjaśniona. Dopóki nie możemy zdać sobie sprawy z szeregu

* Bakerian lecture.—„The discharge of electricity through gases. (Preliminary communication).“ By Arthur Schuster, F. R. S. Proceedings of the Royal Society, t. 47, str. 526.

faktów najbardziej kłopotliwych, dopóty wydaje się prawdopodobnym, że jesteśmy na zupełnie błędnej drodze i że, być może, kryje się pewna niespodzianka, która ostatecznie zmusi nas do zmiany wszystkich naszych idei obecnych. Starałem się badać w ciągu ostatnich lat dziesięciu wyładowanie w gazach, mając na względzie znalezienie jakiegoś tłumaczenia, które byłoby w zgodzie z wnioskami, wyciągniętymi z innych działów fizyki.

W roku 1884 przedstawiłem Towarzystwu Królewskiemu *) zarys teorii, która, zdawało mi się, stanowiła obiecujący punkt wyjścia dla przyszłego badania. Mam wszelki powód być zadowolonym z przyjęcia, jakie teoria ta znalazła wśród innych badaczy, pracujących na tem samem polu, i sądzę że, nie bacząc na trudności, których nie chcę nie doceniać, ogół uważa jednak, że teoria ta ma wszelkie dane do powodzenia ostatecznego. Od tej pory byłem w stanie rozszerzyć me poglądy i ośmielam się mniemać, że możemy teraz wytworzyć sobie dość dokładne pojęcie o najważniejszych postaciach wyładowania w gazach.

W 1882, to jest o dwa lata wcześniej, niżem przedstawił mą rozprawę Towarzystwu Królewskiemu, P. Giese, badając przewodnictwo elektryczne gazów, które uchodzą z płomieni, był naprowadzony na hipotezę identyczną do tej, która tworzyła podstawę mej rozprawy. Żałuje bardzo, że dopiero teraz zaznajomiłem się z pracą P. Giese'go, gdyż byłbym był szczęśliwy, że zwróciłem na nią uwagę.

Obydwaj przypuszczamy, że każda molekula gazowa zawiera atomy, które niosą ładunki równe i przeciwne, i że te ładunki są te same, co i ładunki przenoszone przez jony elektrolitów; dalej, że prąd elektryczności poprzez gaz może być podtrzymywany tylko przez przesunięcie w gazie atomów naładowanych. Nigdy nie miałem pretensyi do wielkiej oryginalności tej hipotezy, gdyż ta sama idea musiała się nasunąć wielu innym uczonym i prawdopodobnie trudno byłoby

*) Roy. Soc. Proc., t. 37, str. 317 (1884).

nakreślić jej wczesne dzieje. Hypoteza określonych ładunków-tworzy jednak zaledwie małą część teorii, którą naszkicowałem w mej poprzedniej rozprawie. Sama jedna nie wystarczy, żeby zdać sprawę z faktów obserwowanych. W celu odróżnienia teorii tej od innych, nazwę ją teorią, „konwekcji elektrycznej“, gdyż jest ona pod wielu względami podobna do rodzaju przewodnictwa w cieczach, który był opisany przez Helmholtz'a pod tem imieniem. Teoria konwekcji elektrycznej daje oczywiste objaśnienia pewnej liczby zjawisk różnych, jak to pokazał Giese dla wyładowania poprzez gazy, które podnoszą się z płomieni, jakem ja sam pokazał dla wyładowania, wywołanego przez duże siły elektromotoryczne, a Elster i Geitel — dla szeregu zjawisk innych. Podług teorii tej, gaz izoluje, dopóki niema jonów swobodnych; działa zaś jako przewodnik, gdy tylko, wskutek tej lub owej przyczyny, molekuly jego zostają rozszczerpione na jony. Napotykamy jednak olbrzymie trudności, kiedy przechodzimy do dyskusji, dotyczącej przenoszenia elektryczności z przewodnika stałego na gaz; gdyż tu jesteśmy w znacznym stopniu skrepowani naszą znajomością elektrolizy cieczy. Wiemy, że różnica potencyału pomiędzy elektrodami, wynosząca 2 wolty, wystarczy do rozkładu wody, a zatem — jest też dostateczna, aby pozwolić na wymianę elektryczności pomiędzy metalem i jonem wodoru lub tlenu. Niedopuszczalna jest żadna teoria wyładowania w gazach, która nie może być scharmonizowana z tymi faktami.

.

Wpływ magnesu na wyładowania odjemne.

Potwierdzenie teorii.

W mej poprzedniej rozprawie opisywałem metodę, za pomocą której, jakem się spodziewał, miałem mieć możność mierzenia ładunków, przenoszonych przez jony i sprawdzenia tym sposobem prawdziwości teorii. Wykonanie tego jest

oczywiście jak najbardziej pożądane, albowiem gdyby można było pokazać, że ładunki cząsteczkowe są te same, co i ładunki przenoszone przez atomy w elektrolitach, to znikłoby wszelkie dalsze powątpiewanie co do poprawności poglądu, za którym przemawiam. Napotkałem nader znaczne trudności w dążeniu do wykonania pomiarów w sposób zadawalający, i dotychczas udało mi się tylko ustalić dość szerokie granice, pomiędzy którymi powinna leżeć wartość ładunków molekularnych.

Podług teorii, cząsteczki są wyrzucane z katody. Obserwowane oddziaływanie na nie magnesu jest ściśle takie, jakie powinnyby zachodzić w tym razie. Droga cząsteczek może być nakreślona zapomocą świecenia wywołanego przez zderzenia z molekułami. Jeżeli tor jest pierwotnie prostoliniowy, to zakrzywia się on pod wpływem magnesu. Krzywizna promieni zależy od dwu wielkości niewiadomych: prędkości cząsteczek i ilości elektryczności, którą one niosą.

Jeżeli cząsteczki, niósące ładunek, mają prędkość prostopadłą względem linii sił, to promień krzywizny r jest określony przez równanie:

$$\frac{mv^2}{r} = Mve \text{ lub } \frac{e}{m} = \frac{v}{Mr},$$

gdzie m jest masą cząsteczki. ²⁾ Jeżeli cząsteczki, będące pierwotnie w spoczynku, wyruszają od katody, koło której przyjmujemy potencjał równy zeru, i dochodzą bez straty energii do miejsca, gdzie potencjał jest równy V , to mamy inne równanie, mianowicie $2Ve = mv^2$.

Rugując v , znajdujemy:

$$\frac{e}{m} = \frac{2V}{M^2 r^2}$$

Wielkość $\frac{e}{m}$ tym sposobem otrzymana może być porównana bezpośrednio ze znanymi równoważnikami elektrochemicznymi.

W pomiarach, opartych na zastosowaniu tego równania, napotykał autor trudności, których mu się nie udało przewyciężyć.

Obliczył w rezultacie tylko granicę górną stosunku $\frac{m}{e}$, granicę zbyt niską zresztą, gdyż brał, jako prędkość cząsteczek, wartość, która wynikała z teorii kinetycznej gazów. Z pomiarów Wiechert'a wiadomo, że prędkość cząsteczek promieni katodowych jest rzędu kilkudziesięciu tysięcy kilometrów na sekundę, gdy prędkości molekuł, które daje teoria kinetyczna, są naogół tegoż rzędu, co i prędkość głosu (kilkaset metrów na sekundę).

W dalszym ciągu rozprawy rozpatruje Schuster przebieg zjawisk w różnych częściach rurki próżniowej. Teorię swą ujmuje on na końcu w pewną całość; ten szczególnie charakterystyczny ustęp podajemy poniżej; nie utracił on swej wartości do dziś; tłumaczenie osobliwego wyładowania elektryczności w rurkach próżniowych i obecnie jeszcze jest raczej ogólnikowym, a opiera się na podstawach przez Schustera podanych.

WNIOSEK.

Teraz w konkluzji krótko zsumujemy wyniki, do których doszliśmy. Gaz w swym stanie normalnym nie zawiera jonów swobodnych, lecz, jeżeli, wskutek jakichkolwiek przyczyn chemicznych lub fizycznych, molekuly zostają rozbite w polu elektrycznym, to jony tworzą się, i gaz staje się przewodnikiem. Przypuszczając, że różnica potencjału dwu elektrod stopniowo powiększa się, osiągniemy stan, kiedy przejdzie iskra, to jest molekuly zostaną rozerwane przez siły elektryczne, przyczem jony dodatnie, dyfundujące ku katodzie, dążyć będą do wytworzenia warstwy polaryzującej o grubości skończonej, powiększającej swą rozciągłość w miarę zmniejszania się ciśnienia.

.....

Pogląd autora na mechanizm wyładowania w gazach był wyraźnie sprzeczny z przyjętą podówczas Maxwellowską teorią zjawisk elektromagnetycznych. Teoria Maxwellowska bowiem, sprowadzając wszystko do odkształceń eteru w środowiskach jednorodnych, zarzucała myśl o realności fluidów elektrycznych, rozważanie struktury środowiska było jej zupełnie obce.

Spółczesna nam teoria elektronowa elektrodynamiki łączy obydwie kierunki myśli; zachowuje równania Maxwell'a i wprowadza do nich pojęcie ładunków elektrycznych. Następujący końcowy ustęp z rozprawy Schustera zawiera pogląd na teorię elektryczności zbliżony do przyjętego obecnie.

Zgrzeszyłem innym sposobem przeciwko tak zwanym nowoczesnym poglądom na elektryczność, gdyż mówiłem o elektryczności dodatniej i ujemnej, jako o substancjach rzeczywistych, posiadających byt odrębny. Spróbowałem jednak uciec się pod ochronę uznanego autorytetu, cytując w nagłówku tego wykładu orzeczenie Helmholtz'a, że mamy tyleż racji do przypuszczenia, iż elektryczność ma budowę atomistyczną, ile też—do przypuszczenia o atomistycznej budowie materii. Musimy powierzyć przyszłości doprowadzenie poglądu tego do harmonii z elektromagnetyczną teorią światła, która musi być przyjęta obecnie za fakt ustalony. Niema rzeczywistego antagonizmu pomiędzy dwoma poglądami. Jeżeli kiedykolwiek będziemy zdolni wyłómaczyć przyciąganie chemiczne lub grawitację zapomocą napięć w środowisku, to zawsze będziemy uważali za odpowiednie mówienie o atomach i molekułach; i tym samym sposobem mniemanie o elektrycznem napięciu i wysile zgodne jest z przypuszczeniem w atomie czegoś, od czego napięcie bierze swój początek i co może być uważane za elementarną ilość elektryczności.

Nawet przyjmując krańcowy pogląd, że napięcie elektryczne pochodzi z nici wirów w eterze, musimy tylko przypuścić, że wszystkie te nici mają to samo natężenie i że niektóre kończą się na powierzchni atomów—godząc tym sposobem poglądy pozornie sprzeczne. Lecz niema konieczności, żebyśmy się obecnie zatrzymywali na jakichkolwiek poglądach poszczególnych. Znajdziemy, że w pewnych zjawiskach elektrycznych jest najodpowiedniejszem mówić o elektrycznem napięciu i wysile...; w innych i obecnie bardziej licznych przypadkach będziemy trwali przy starej nomenklaturze i będziemy mówili o elektryczności dodatniej i ujemnej, jako o wielkościach rzeczywistych. Przedmiot elektro-

chemii ma pierwszorzędną doniosłość w obecnym stanie nauki.

Różnica w zachowaniu się cząsteczek naelektryzowanych dodatnio i odjemnie wskazuje, jakem to próbował wyjaśnić, na niesymetryczną modyfikację sił międzycząstkowych przez elektryzację. Nie wystarczy dodawać geometrycznie działania sił molekularnych i elektrycznych, lecz niezbędnem jest brać pod uwagę oddziaływanie pomiędzy siłami chemicznymi a elektrycznymi. Dokładna natura tego wpływu musi być wyjaśniona częściowo zapomocą badania chemicznego, lecz wyładowania elektryczności poprzez gazy w każdym razie obiecują badaczowi bogate żniwo.

O promieniach katodowych w gazach, będących pod ciśnieniem atmosferycznym, i w próżni jak najdalej posuniętej; przez Filipa Lenarda. *)

1. Kiedy posuniemy dość daleko próżnię w rurce Geisslerowskiej, to ustępują na plan drugi prawie wszystkie zjawiska, które się wiążą z anodą i które zaznaczają drogę wyładowania elektrycznego, a za to rozwijają się w całej pełni promienie wzbudzające fosforescencyę; wychodzą one od katody; odkrył je Hittorf, a Crookes badał, jako materię promienistą. Te promienie katodowe, choć wytworzone przez wyładowanie elektryczne, są jednak odeń całkiem niezależne w swem rozchodzeniu się. Ponieważ w wyobraźni naszej one zupełnie wyodrębniają się od wyładowania wytwarzającego je, przeto, sądząc z tego, co o nich jest wiadomem, wydają się jakby czemś do światła analogicznem: są z niem blisko spokrewnione pod względem stosunków geometrycznych rozchodzenia się, są znów jednak odeń zupełnie odmienne w istotnych własnościach. Zakres zjawisk nieznanych, które one, wobec swej niedostępności, w sobie zawierają, jest tym sposobem czemś równorzędnem całej optyce. Różniąc się od światła pod względem zdolności przenikania ciał stałych, kończą się pro-

*) Ueber Kathodenstrahlen in Gasen von atmosphärischem Druck und im äusserstem Vacuum; von Philipp Lenard. Annalen der Physik und Chemie, 1894, t. 51, str. 225.

mienie katodowe w naszych rurach do wyładowań tam, gdzie napotykają ściankę szklaną. Co jednak stałoby się, gdyby ścianka była dla nich przezroczysta?

Wydało się, że nie jest już rzeczą niemożliwą doświadczalnie odpowiedzieć na to pytanie, gdy Hertz wykazał, że zwykle listki metali silnie przepuszczają promienie katodowe, nawet w potrójnej i poczwórnej warstwie. Prawda, że folie metalowe są delikatne i nigdy nie są wolne od dziurek, nie są zatem bezpośrednio przydatne do naszego celu; ale promienie katodowe nie przenikają przez dziurki, lecz przez materiał folii.

Stosownie do tego okazało się niebawem, że promienie katodowe przenikają silnie nawet przez 15-ście warstw zwykłej folii aluminiowej, szczególnie, — gdy się wytwarza promienie odpowiednie, Pomiedzy pewną liczbą grubszych folii aluminiowych różnej grubości, o które się później wyśtaralem, znalazłem jedną, nie zawierającą dziurek, właśnie dość grubą, aby oprzeć się jednostronnemu ciśnieniu atmosferycznemu na małej powierzchni, a jednak — tylko osiem razy grubszą od zwykłych listków glinowych. Ta folia nadawała się do wytworzenia zamknięcia nieprzenikliwego dla powietrza a przenikliwego dla promieni; tym sposobem otwierano promieniom katodowym drogę do przejścia w atmosferę swobodną. Nie można było, co prawda, przepowiedzieć, że one tą drogą pójdą. Doświadczenia, które tu mamy opisać, nie pozostawiają co do tego żadnej wątpliwości. Skoro się wytworzy promienie katodowe, to rozchodzą się one już i w przestrzeni wypełnionej powietrzem i na drodze niemal decymetrowej długości.

Tem samem więc obserwację promieni można przenieść z rurki wyładowań w przestrzeń swobodną; można je badać w dowolnych ośrodkach. Szczególnie zasługuje na uwagę to, że uczyniono od siebie zupełnie niezależnem ich spostrzeganie i wytwarzanie; warunki pierwszego mogą być zmieniane niezależnie od zmian w drugim.

Szczególnie interesującą jest możność przepuszczania ich w próżnię zupełną, w której one, jak wiadomo, nie mogą

być wytwarzane; interesująca jest zatem możliwość wykonania przy ich użyciu tego samego doświadczenia zasadniczego, które w przypadku głosu, światła rozstrzygnęło, czy to są zjawiska odbywające się w materji czy też w eterze. Jak zobaczymy, przestrzeń próżna nie jest przeszkodą do rozchodzenia się promieni. Zachowując silne natężenie, przebiegają one w niej drogi długości metrowej; tym sposobem ukazują się nam, jako zjawiska w eterze. Zważywszy, jak mało wiemy o eterze, zgodzimy się, że dzięki temu wzbudzają one tem żywsze zainteresowanie. *)

Przyrząd.

Po stopniowej zmianie wszystkich prawie części rurki wyładowań otrzymała ona formę, którą pokazuje w przekroju

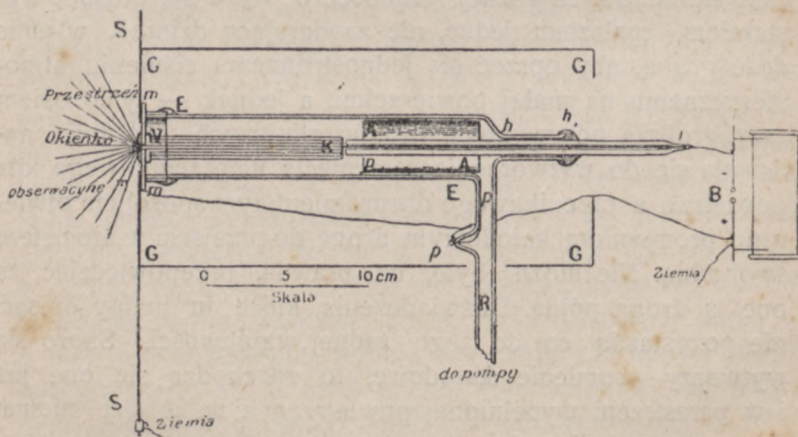


Fig. 75.

poprzecznym *EE* na fig. 75. *) *K*, krążek aluminiowy, o średnicy 12 mm. jest katodą; jest ona osadzona na dłu-

*) Wszystkie części rurki wyładowań i osłona są narysowane dokładnie, z zachowaniem prawdziwego stosunku wielkości (por. dołączoną skalę), tylko osłona *SS* została nieco zmniejszona. Cewkę zaznaczono tylko.

gim pręcie, który okala zupełnie nader grubościenna rurka szklana Kl i który jest wtopiony koło l . Rurka szklana jest dobrze dopasowana do szyjki rurki wyładowań i jest w nią szczelnie wkitowana około h . Anodą AA jest kawałek rurki mosiężnej, który niemal przylega do rurki wyładowań, pręt z katodą wystaje przed nim na 12 mm. Drut platynowy ppp utrzymuje anodę w jej położeniu, a zarazem doprowadza prąd; jest on wlutowany w rurę R , prowadzącą do pompy. Naprzeciw katody rurka wyładowań jest szczelnie zamknięta przez grubą czapkę metalową mm , szczelnie wkitowaną. Tę pokrywę w jej wielkości naturalnej pokazuje fig 76. Jest ona przeborowana w swym środku koło F . Na ten otwór 1.7 mm. szeroki (jego brzegi zewnętrzne są dobrze zaokrąglone) jest położony cienki listek glinowy Al^{**}) i przyklejony naokoło za pomocą kitu. ***) To zamknięcie, przepuszczające promienie katodowe i zupełnie nieprzenikliwe dla światła i powietrza, nazywam okienkiem, a przestrzeń, która znajduje się na figurze po jego lewej stronie,—przestrzenią obserwacyjną. Jak wynika ze sposobu umocowania, okienko jest w dobrym kontakcie metalowym z czapką, która, jak i anoda, jest doziemiona. Aby okienko nie działało zarazem jako anoda, co pociągnęłoby za sobą zużywanie metalu, jest umieszczony wewnętrzny ekran ochronny V , który pozostawia swobodnym dla promieni katodowych tylko otwór 3 mm. Rurka wyładowań jest otoczona pudłem blaszanem, z którym łączy się w przedniej części duża zasłona blaszana SS , która pozo-

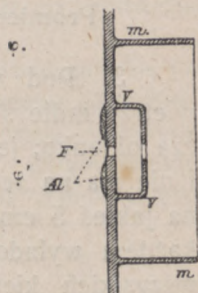


Fig. 76.

*) 1 cm.² tego listka waży 0,000715 gr., jest on zatem na 0,00265 mm. gruby (7,7 razy grubszy od zwyczajnej folii aluminiowej), łatwo nim przytem manipulować i krajać go nożyczkami.

**) Używam jako kitu do okienka kleju marynarskiego (Marineleim) (1 cz. smoły drzewnej+1 cz. smoły+1 cz. gutaperki); do innych kitowań—laku pokrytego klejem marynarskim. Sam lak pęka z czasem, a sam klej marynarski zostałby wciśnięty w spojeniach przez ciśnienie atmosferyczne.

stawia swobodnym tylko otwór okienka i po stronie przestrzeni obserwacyjnej jest wyczerniona. To pudło i zasłona, które są odprowadzone do ziemi, chronią przestrzeń obserwacyjną od światła i od sił elektrycznych wyładowania.

Najodpowiedniejszym dla tych doświadczeń było rozrzedzenie tego rodzaju, że napięcie cewki odpowiadało 3 centymetrowej iskrze w powietrzu pod zwykłym ciśnieniem. Dla kontroli umieszczono równoległe do rurki iskiernik. Cewka była średniej wielkości. (15 cm. iskra przy 4 akumulatorach i przerywaczu rtęciowym).

Promienie katodowe w atmosferze swobodnej.

3. Pod wpływem promieni katodowych wysyła powietrze mdłe światło. Obłoczek niebieskawego światła otacza okienko; jest on najjaśniejszy w pobliżu samego okienka i nie ma na zewnątrz wyraźnej granicy; nie sięga dalej jak na jakieś 5 cm. od okienka. Wydaje się, że światło przy każdym wyładowywaniu wystrzela z okienka kiściami we wszystkich kierunkach; nie jest dość jasne, aby mogło być zbadane za pomocą spektroskopu kieszonkowego...

4. Ciała zdolne do fosforescencji, trzymane w pobliżu okienka, świecą jasno światłem sobie właściwym na stronie doń zwróconej. Wobec świetnego blasku fosforów ziem alkalicznych,⁴⁾ kalcytu, szkła uranowego, znika zupełnie świecenie powietrza i okna. Wraz z oddalaniem się od okienka, szybko zmniejsza się natężenie zjawiska, znika ono w odległości 6 lub 8 cm...

Barwa i względna jasność świecenia są tu te same, które były również obserwowane w rurkach próżniowych pod wpływem promieni katodowych...

Autor podaje dalej szczegółowy opis fosforescencji różnych ciał.

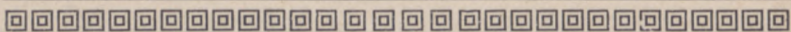
5. Wszystkie zjawiska fosforescencji ustają w przestrzeni obserwacyjnej, gdy magnes przyłożony do rurki wyładowań odchyła promienie katodowe od wewnętrznej po-

wierzchni okienka; i okienko, i powietrze pozostają wówczas ciemne.

6. Padając na skórę, nie wywołują promienie katodowe żadnego wrażenia, nie wywołują go również padając na oko. Nos wyczuwa silny zapach ozonu, a swoisty smak, którego uczucie wzbudzają promienie katodowe na języku, ozonowi również należałoby przypisać.

W dalszym ciągu tej części rozprawy podaje Lenard wyniki swych szczegółowych i skrupulatnych badań nad zdolnością przenikania promieni przez różne ciała, nad ich energicznym działaniem na płytę fotograficzną i zdolnością wyładowywania ciał naelektryzowanych (co, jak obecnie wiemy, w warunkach tych doświadczeń, zachodziło drogą pośrednią, na skutek jonizacji otaczającego powietrza).

Rozdział następny jest poświęcony rozchodzeniu się promieni w próżni. Autor przekonał się, że promienie przechodzą przez próżnię tak daleko posuniętą, że przestają przechodzić przez nią wszelkie wyładowania elektryczne. Ostatni wreszcie rozdział jest poświęcony zdolności przenikania promieni przez różne gazy.



W. K. RÖNTGEN.

Urodzony w roku 1845, uzyskał Wilhelm Konrad Röntgen w roku 1868 stopień doktora filozofii. Od roku 1870 był asystentem Wundt'a w Würzburgu. Przeniósłszy się w roku 1872 do Strassburga, został tam po dwu latach docentem. W kilka lat później był już profesorem nadzwyczajnym. Widzimy go następnie na stanowisku profesora zwyczajnego i kierownika instytutu fizycznego w Giessen i Würzburgu. Obecnie wykłada fizykę doświadczalną i kieruje instytutem fizycznym w Monachium.

Prace naukowe Röntgen'a dotyczyły głównie związku pomiędzy zjawiskami elektrycznymi i świetlnymi. Prowadził on prócz tego badania nad zjawiskami elektrycznymi w kryształach, nad ciepłem właściwym gazów i inne. Sławę wszechświatową uzyskał dzięki dokonaniu w r. 1895 odkryciu nowych promieni. Niezmiernie doniosłe, choć mniej znane, są jego badania nad prądami konwekcyjnymi przy ruchu dielektryków.

Promieniom przez siebie odkrytym nadał Röntgen nazwę promieni X. Rzeczywiście, są one do dziś zagadką, nie można ich bowiem podporządkować żadnej innej kategorii promieni, o których naturze mamy określone wyobrażenie. Dwie są teorie, któremi starano się wytłumaczyć promienie Röntgen'a. Teoria „impulsów“ przypuszcza, że promienie X składają się z szeregu nieprawidłowo po sobie następujących zakłóceń w eterze świetlnym; podług teorii „ballistycznej“ polegają promienie Röntgen'a na szybkim ruchu zespołu cząstki dodatniej i ujemnej. W chwili obecnej skłaniają się badacze raczej ku pierwszej hipotezie, za którą przemawia niedawno (w r. 1912) odkryte zjawisko interferencji promieni X. Na

podstawie doświadczeń nad uginaniem się promieni Röntgen'a (nie dawały one dotychczas niezbitych wyników pozytywnych, które dowodziłyby istnienia dyfrakcyi tych promieni) wywnioskowano, że długość ich fali nie przewyższa 10^{-7} mm., jest zatem przynajmniej tysiąc razy mniejsza od długości fali skrajnej nadfioletowej części widma. Wiadomo, że w siatkach dyfrakcyjnych odstęp pomiędzy szparkami powinien być wielkością tegoż rzędu, co i długość fali świetlnej. Otóż trudność zasadniczą sporządzenia tak niesłychanie subtelnej siatki dyfrakcyjnej usunął M. Laue; wpadł on na myśl użycia kryształów, które podług teorii Bravais składają się z prawidłowego układu molekuł w postaci siatki trójwymiarowej. Na propozycję Laue'go doświadczenie odnośne zostało podjęte przez Friedrich'a i Knipping'a, którzy, przepuszczając wiązkę promieni Röntgen'a przez kryształy, otrzymali na kliszy zdumiewająco piękne obrazy interferencyi promieni X. Kwestya długości fali promieni Röntgen'a nie została jednak tem samym rozstrzygnięta, gdyż w zjawisku tem wchodzi w grę dwie niewiadome: wielkość molekuł i długość fali promieni X.

O nowym rodzaju promieni.

(Doniesienie tymczasowe). *)

1. Jeżeli przez próżnię rury Hittorfa albo przez dostatecznie opróżnioną rurkę Lenard'a, Crookes'a lub inny podobny aparat przepuścimy z dość dużej cewki Ruhmkorff'a prąd elektryczny i zakryjemy rurę dostatecznie przystającą powłoką z cienkiej czarnej tektury, to w zupełnie ciemnym pokoju zauważymy, że przy każdym wyładowaniu elektryczności umieszczony w pobliżu aparatu ekran papierowy, pokryty warstwą platyno-cyanku barowego, silnie świeci, fluoryzuje, niezależnie od tego, którą stroną ekran zwrócony jest do aparatu. Fluorescencya widoczną jest jeszcze w odległości 2 metrów od aparatu. Łatwo się przekonać, że źródłem fluorescencyi jest sama rurka, a nie żadne inne miejsce przewodnika elektryczności.

2. Najbardziej uderzającym w powyższem doświadczeniu jest to, że przez czarną powłokę, która nie przepuszcza żadnych widzialnych, ani pozafioletowych promieni słonecznych, ani też elektrycznych, przenikają czynniki (promienie), wywołujące wyraźną fluorescencyę. Należało więc zbadać, czy i inne ciała posiadają omawianą własność.

Przekonałem się też, że wszystkie ciała przepuszczają ten czynnik, aczkolwiek w różnym bardzo stopniu. Oto kilka

*) Przedruk z przekładu broszury Röntgen'a, (broszura zawierała odczyt, wygłoszony przezeń na posiedzeniu Tow. Fizyczno-Lekarskiego w Würzburgu w r. 1895) dokonanego przez p. S. Srebrnego. (Warszawa, 1896, Paprocki i S-ka).

przykładów: *) Papier jest bardzo przepuszczalny: poza oprawioną książką, zawierającą około 1000 stronic, widziałem na ekranie wyraźną jeszcze fluorescencyę; farba drukarska widocznie przeszkód nie stawia. Tak samo też fluoryzował ekran poza 2 taliami kart wistowych. Pojedyncza karta, umieszczona między aparatem a ekranem, nie wywierała żadnego widocznego dla oka wpływu. Pojedynczy arkusz staniolu ledwo się zaznacza na ekranie; wyraźny zaś cień występuje dopiero wtedy, gdy weźmiemy kilka arkuszy staniolu. Grube kłoc drewniane są jeszcze przepuszczalne; sosnowe deski, grubości 2 do 3 cm., odznaczają się bardzo małym pochłanianiem (absorbcyą). Płytką glinową, grubości około piętnastu milimetrów, aczkolwiek znacznie osłabia działanie promieni, nie była jednak w stanie zupełnie usunąć fluorescencyi. Płyty ebonitowe, grubości kilku centymetrów, jeszcze są dla owych promieni **) przepuszczalne.

Jednakowej grubości płyty szklane zachowują się różnie, zależnie od tego, czy zawierają ołów lub nie. W pierwszym razie są one daleko mniej przepuszczalne, niż w drugim.

Jeżeli umieścimy rękę pomiędzy aparatem a ekranem, zobaczymy na nim wyraźny cień kości na tle mniej wyraźnego cienia ręki.

Woda, siarczek węgla i różne inne płyny, badane w naczyniach mikowych, okazują się bardzo przepuszczalnymi. Ażeby wodór był znacznie więcej przepuszczalny, niż powietrze, znaleźć nie mogłem.

Poza płytkami miedzianymi, srebrnymi, ołowianymi, złotymi lub platynowymi fluorescencya jeszcze jest wyraźna, jednak tylko w razie niezbyt znacznej grubości płytek. Płytką platynową, grubości 0,2 mm. jest jeszcze przepusz-

*) Przez „przepuszczalność“ jakiegokolwiek ciała rozumiem stosunek siły świecenia ekranu, przed którym znajduje się dane ciało, do siły świecenia tegoż ekranu, gdy w tych samych zresztą warunkach ciało z przed ekranu usunięte zostało.

**) Dla krótkości będę nazywał promienie te „promieniami X“ a to w celu odróżnienia ich od innych promieni.

czalna; srebrna zaś i miedziana mogą być grubsze. Płytką ołowiana, grubości 1,5 mm., jest prawie że nieprzepuszczalna i dla tej jej własności była też często w odpowiednim celu przeze mnie stosowana. Listwa drewniana o przecięciu kwadratowym (20×20 mm.), której jedna powierzchnia pokryta jest białą farbą, zachowuje się względem promieni X różnie, zależnie od tego, jak ją pomiędzy aparatem i ekranem trzymamy: pozostaje ona prawie bez wpływu, jeżeli promienie X przebiegają równoległe do płaszczyzny pomalowanej; przeciwnie zaś, rzuca na ekran wyraźny cień, jeżeli promienie X przebiegają prostopadle do niej. W podobny szereg, jak i metale, dają się ułożyć pod względem przepuszczalności i ich sole, bądź w postaci stałej, bądź też w roztworach.

3. Nie tylko powyższe, lecz i inne jeszcze poszukiwania prowadzą do wniosku, że przepuszczalność promieni przy jednakowej grubości płyt zależy głównie od gęstości ciał: żadna inna ich własność nie wywiera tak wielkiego wpływu, jak omawiana.

.....

7. Przekonawszy się o przepuszczalności różnych ciał znacznej stosunkowo grubości, starałem się także zbadać, jak promienie X zachowują się przy przejściu przez pryzmat: czy załamują się one w nim, czy też nie. Doświadczenia, wykonane z wodą i siarczkiem węgla, pomieszczonymi w pryzmatach mikowych, o kącie łamiącym około 30° , nie wykazały żadnych odchyień ani na ekranie fluoryzującym, ani też na płycie fotograficznej. Dla porównania badane było w tych samych warunkach odchylenie promieni świetlnych; obrazy odchyłone znajdowały się na płycie w oddaleniu 20 do 30 mm. od nieodchyłonych. Używając pryzmatu ebonitowego i glinowego, również o kącie łamiącym około 30° , otrzymałem na płycie fotograficznej obrazy, na których nieznaczne zaledwie odchylenie rozpoznać można było. Kwestya ta jednak wydaje się bardzo niepewną; odchylenie zaś, jeżeli nawet istnieje, jest, bądź co bądź, tak małe, że

spółczynnik załamania promieni X w omawianych ciałach mógłby wynosić najwyżej 1,05.—Na fluoryzującym zaś ekranie w tym samym przypadku odchylenia promieni wcale zauważyć nie mogłem.

Badania z pryzmatami z metali gęstszych nie dały, jak dotąd, żadnego pewnego rezultatu, a to z powodu małej ich przepuszczalności i, co za tem idzie, słabego natężenia przepuszczonych promieni.

Wobec tych faktów i wobec ważności kwestyi, czy promienie X, przechodząc z jednego ośrodka do drugiego, załamują się, czy też nie, jest rzeczą bardzo pocieszającą, że kwestya ta może w inny jeszcze sposób być badana, — nie tylko zapomocą pryzmatów. Dostatecznie grube warstwy dokładnie sproszkowanych ciał przepuszczają niewiele tylko promieni świetlnych, i to w stanie rozproszonym, co jest wynikiem załamania i odbicia: jeżeli więc ciało w stanie sproszkowanym tak samo przepuszcza promienie X, jak i w stanie niesproszkowanym, i przy tem masa ciała jest w jednym i drugim razie ta sama, to mamy dostateczny dowód, że dla promieni X nie istnieje ani wyraźne załamanie, ani też regularne odbicie. Doświadczenia wykonywane były z dokładnie sproszkowaną solą kuchenną, z proszkiem srebrnym, na drodze elektrolitycznej otrzymanym, a także i z pyłkiem cynkowym, do badań chemicznych częstokroć używanym; w żadnym przypadku nie zauważyłem różnicy w przepuszczalności ciała całkowitego i sproszkowanego, zarówno przy obserwowaniu ekranu fluoryzującego, jak i płyty fotograficznej.

Z powyższego wynika już samo przez się, że promienie X nie dają się skupiać zapomocą soczewek; zarówno wielka soczewka ebonitowa, jak i soczewka szklana okazały się też w samej rzeczy bez wszelkiego wpływu. Obraz cieniowy, jaki daje walec, jest po środku ciemniejszy, niż po bokach; obraz cieniowy rury, napełnionej jakąkolwiek materją, bardziej niż rura przepuszczalną, jest po środku jaśniejszy, niż po bokach.

11. A oto jeszcze jedna nader godna uwagi cecha,

odróżniająca promienie X od promieni katodowych: pod wpływem nawet bardzo silnych magnesów, pomimo wielokrotnych usiłowań, nie udało mi się dostrzedz odchylenia promieni X.

14. Jeżeli dla czynnika, wychodzącego ze ściany aparatu, używam nazwy „promienie“, to czuję się do tego upoważnionym po części na skutek tworzenia się prawidłowego cienia, który się ukazuje, gdy pomiędzy aparatem a ekranem fluoryzującym (lub płytą fotograficzną) pomieścimy różne, mniej lub więcej przepuszczalne ciała. Tworzenie się tych cieniów niekiedy szczególnie jakiś powab przedstawia. Wiele ich spostrzegałem, a z niektórych nawet i zdjęcia fotograficzne porobiłem; posiadam oto, na przykład, fotografię cienia, jaki rzucały drzwi, prowadzące z pokoju, w którym się znajdowała rura, do drugiego pokoju, gdzie umieszczona była płyta fotograficzna; posiadam dalej fotografię cienia układu kostnego ręki, fotografię cienia drutu, nawiniętego na szpulkę drewnianą, — ciężarków zamkniętych w pudełku, — bussoli, której igła magnesowa otoczona była oprawą metalową, — płyty metalowej, której niejednorodność budowy uwidoczniłą została przy pomocy promieni X—i t. d.

15. Wiele poszukiwań robiłem też odnośnie interferencji promieni X, lecz niestety, z powodu może małego natężenia objawów, bezskutecznie.

17. Jeżeli sobie teraz zadamy pytanie, czem są właściwie promienie X, których za katodowe promienie stanowczo uważać nie można, to w pierwszej chwili, ze względu na zdolność ich wzbudzania fluorescencji i ich działanie chemiczne, możnaby pomyśleć o promieniach pozafioletowych. Lecz tu zaraz nasuwają się poważne wątpliwości.

Gdyby bowiem promienie X były pozafioletowymi, to te ostatnie musiałyby posiadać następujące własności:

a) nie powinnyby się wyraźnie załamywać przy przejściu z powietrza do wody, siarczku węgla, glinu, soli kuchennej, szkła, cynku i t. d.

b) nie powinnyby się od wzmiankowanych ciał prawidłowo i wyraźnie odbijać;

c) nie powinny podlegać wpływowi przyrządów polaryzacyjnych, zwykle używanych.

d) absorbcya ich nie powinna być zależna od żadnych innych własności ciał, jak tylko od ich gęstości.

To znaczy, że trzeba przyjąć, że te pozafioletowe promienie zachowują się zupełnie inaczej, niż znane dotąd promienie pozafioletowe, pozaczzerwone i widzialne. Z tem się pogodzić nie mogłem i szukałem innego wyjaśnienia.

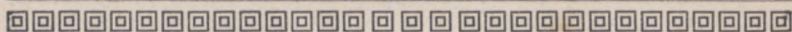
Analogia pewna pomiędzy tymi nowymi promieniami i promieniami świetlnymi zdaje się istnieć; na to przynajmniej wskazuje tworzenie się cienia, zdolność wzbudzania fluorescencji i działanie chemiczne, co u obu tych rodzajów promieni zarówno spostrzegać się daje. Prócz tego zaś od dawna już wiadomo, że, oprócz poprzecznych drgań eteru, możebne są także i podłużne, — według różnych fizyków muszą one nawet powstawać. Istnienie ich, co prawda, nie zostało jeszcze, jak dotąd, wyraźnie dowiedzione. Stąd też i własności ich nie były jeszcze doświadczalnie badane.

Czyby nie należało więc uważać tych nowych promieni za podłużne drgania w eterze?

Muszę się przyznać, że w ciągu badań moich coraz bardziej skłaniałem się do tego przypuszczenia, i ten mój pogląd pozwalam sobie na tem miejscu wypowiedzieć, jakkolwiek dokładnie zdaję sobie sprawę, że objaśnienie powyższe wymaga jeszcze bliższego uzasadnienia. *)

Würzburg. Instytut fizyczny uniwersytetu.
Grudzień, 1895.

*) Hypotezę fal podłużnych w eterze musimy stanowczo odrzucić w świetle badań spóczesnych nad promieniami X, stwierdzono bowiem w sposób niewątpliwy częściową polaryzację tych promieni. Bliższą wiadomość o tej kwestyi znaleźć można w książce R. P o h l a „Die Physik der Röntgenstrahlen“, Brunświk, 1912.



J. J. THOMSON.

J. J. Thomson urodził się w roku 1856. Początkowo studiował fizykę w Manchesterze pod kierunkiem Balfoura Stewart'a. Ówczesne laboratoria nie były jeszcze tak przepelnione studentami, jak to ma miejsce obecnie; dzięki temu młodzi studenci korzystali z daleko większej samodzielności, niż obecnie. Pracowali z danym przyrządem po kilka tygodni i według własnego widzi-miszę dokonywali prób. Balfour Stewart gorąco miłował pracę naukową i umiał swego zamiłowania udzielać innym. J. J. Thomson wspomina, *) że kiedyś Stewart tak umiał go zająć kwestyą możliwego związku pomiędzy plamami na słońcu a zmianami magnetyzmu ziemskiego, iż sam ofiarował swe usługi w opracowaniu materiału liczbowego, zebranego przez profesora. Była to robota znu-dna, w gruncie rzeczy czysto arytmetyczna; „...a jednak—pisze Thomson—wydała mi się bardzo interesująca; uczucie, iż biorę pewien udział w nauce rzeczywistej, sprawiało mi radość, której nie daje samo powtarzanie doświadczeń laboratoryjnych.“ Wów-czas też, pomagając Balfour'owi Stewart'owi w sprawdzeniu prawa zachowania masy przy reakcjach chemicznych, o mało nie stracił wzroku przy eksplozyi, podczas gwałtownego łączenia się jodu z rtęcią.

Opuściwszy Manchester, przybył Thomson w roku 1876 do Cambridge. Jedyne prace samodzielne, których dokonał, były

*) Źródłem wiadomości była dla piszącego te słowa książka pa-miątkowa „A history of the Cavendish Laboratory,“ Longmans, Green, and C-o 1910, wydana dla upamiętnienia dwudziestopięcioletniego jubi-leuszu pracy profesorskiej J. J. Thomson'a przez grono jego współpra-cowników i uczniów.

dwie rozprawki matematyczne, ogłoszone w „Messenger of Mathematics.” Przez cztery pierwsze lata pobytu swego w Cambridge zajmował się Thomson jedynie studyami z dziedziny matematyki czystej. Uważa on, iż z tych prac nad matematyką czystą wyniósł ogromną korzyść przez rozszerzenie horyzontu myślowego; sądzi, zresztą, iż człowiek, posiadający pewną, choć nawet powierzchowną, znajomość matematyki, ma i tę przewagę nad innymi, że nie pozwala matematykom imponować sobie straszliwą nomenklaturą, w którą oni tak chętnie ubierają najprostsze twierdzenia.

Dopiero w roku 1880, otrzymawszy stopień uniwersytecki, zaczął J. J. Thomson pracować w Laboratorium im. Cavendish'a pod kierunkiem lorda Rayleigh'a. Założone w roku 1871 Laboratorium to już posiadało świetne tradycje. Pierwszym kierownikiem był tu Clerk-Maxwell, który pozostawał na tem stanowisku do śmierci (1879). Maxwell umiał zachęcać do pracy; wpływ jego na otoczenie był ogromny ze względu na niepospolite zalety umysłu; *) nie stworzył jednak Maxwell własnej szkoły, gdyż pragnął, by każdy szedł własną indywidualną drogą; również chętnie popierał przedsięwzięcia szeroko zakreślone, jak i skromne prace specjalne. Wszystkiem się interesował; praca w laboratorium była nader różnorodna. Zgłaszano się przeważnie z własnymi pomysłami, które czerpano często z badań teoretycznych Maxwell'a.

Po Maxwell'u objął zarząd pracownią lord Rayleigh. Prace tego wielkiego uczonego w Laboratorium im. Cavendish'a były skierowane w pierwszym rzędzie ku określeniu zasadniczych jednostek, używanych w pomiarach elektrycznych i magnetycznych. Pod kierunkiem Rayleigh'a były wykonane w Cambridge prace miernicze doniosłości ogromnej; od niego też uczyli się sztuki ścisłości pomiarów ludzie, którzy później mieli zająć najwybitniejsze miejsca w metrologii, czyli dziale wiedzy, poświęconym poznaniu jednostek, — że wspomnimy np. Glazebrooke'a. Pod kierunkiem Rayleigh'a podjął Thomson badania nad „prądami przesunięcia“, które podług Maxwell'a powinny być istnieć w di-

*) Pozwalamy sobie przytoczyć aforyzm Maxwell'a, który dosadnie charakteryzuje oryginalność wielkiego uczonego w każdej sprawie. (Hist. of the Cav. Lab., str. 32). Na uwagę, iż pewna rozprawa nie zasługuje na ogłoszenie jej drukiem, odrzekł: „Kwestya, czy dana praca zasługuje na ogłoszenie, czy nie, zależy od stosunku stopnia talentu, ujawnionego w pracy, do całkowitego talentu autora.“

elektrykach. Nie otrzymawszy wyników dość określonych, przeszedł J. J. Thomson do wyznaczenia stosunku jednostki ładunku elektrycznego w układzie elektromagnetycznym do wielkości tej samej jednostki w układzie elektrostatycznym. Jednocześnie pracował Thomson teoretycznie nad kwestią zastosowania uogólnionych równań Lagrange'a do zagadnień fizyki i chemii fizycznej. Powstała stąd później głośna książka: „Applications of Dynamics to Physics and Chemistry.“ Zajmował się też w tym okresie czasu elektromagnetyczną teorią światła, własnościami ładunków w ruchu będących, ruchem wirowym i wyładowaniem elektryczności poprzez gazy rozrzedzone. W uniwersytecie powierzono mu wykłady matematyki stosowanej.

Kiedy w roku 1884 lord Rayleigh zrezygnował ze stanowiska profesora, Thomson został powołany na to stanowisko w 28 roku życia.

Epoka największego rozkwitu pracy naukowej J. J. Thomson'a przypada na okres czasu od 1895 — 1903 roku. Odkrycie Röntgen'a nadało nowy impuls badaniom Thomson'a nad przechodzeniem elektryczności przez gazy. W tej dziedzinie stworzył Thomson zasadnicze pojęcia jonu i elektronu, on też pierwszy wyznaczył stałe fizyczne elektronów. Z jego odkryć i dociekań, śmiało rzec można, bierze początek cała nauka spóczesna o budowie materii i strukturze elektryczności.

Ogrom pracy dokonanej w Laboratorium Cavendish'a przewyższał wielokrotnie siły jednego człowieka. Zaslugą J. J. Thomson'a było i to, że umiał stworzyć szkołę. Szczęśliwym zbiegiem okoliczności w tym samym roku 1895 władze akademickie udostępniły pracę w Laboratorium Cavendish'a wszystkim tym, którzy, bądź posiadając stopnie naukowe uniwersytetów obcych, bądź też nie posiadając ich wcale, dawali gwarancje, iż podejmą wartościowe badania naukowe. To osłabienie formalistyki okazało się w skutkach zbawiennem. W pierwszym zaraz roku pomiędzy nowoprzybyłymi znaleźli się: Rutherford z Nowej Zelandyi, Townsend z Dublina, McClelland z Galway w Irlandyi i Langevin z Paryża. Wiadomo powszechnie, jak wielkie zasługi położyli ci badacze na polu przewodnictwa elektryczności w gazach i promieniotwórczości, działalność ich pozna też czytelnik z artykułów w tej książce poniżej umieszczonych. Wszyscy oni zajmują dziś najwybitniejsze stanowiska naukowe.

Wykaz nazwisk uczonych, którzy pracowali w Laboratorium Cavendish'a zajmuje 10 stron druku księgi jubileuszowej i świeci szeregiem nazwisk znanych z wybitnych prac specjalnych (Z polskich uczonych pracowali w Cambridge profesorowie: Natanson, Olearski i Smoluchowski). Spis prac dokonanych w tej pracowni za czasów J. J. Thomson'a zawarty jest na trzydziestu przeszło stronicach. Najkompletniejszą historię pracowni w Cambridge znaleźć można w rocznikach angielskich czasopism naukowych. Jest niewątpliwie Laboratorium im. Cavendish'a jedyną w dziejach nauki instytucją, na której czele stali kolejno po sobie trzej ludzie prawdziwie genialni.

Promienie katodowe. Przez J. J. Thomson'a, M. A., F. R. S., profesora fizyki doświadczalnej na katedrze im. Cavendish'a w Cambridge. *)

Doświadczenia, roztrząsane w tej rozprawie, były przedsięwzięte w nadziei zdobycia pewnych danych co do natury promieni katodowych. Co do promieni tych są wygłaszane najbardziej różnorodne mniemania. Zgodnie z jednomyślnem prawie zdaniem fizyków niemieckich, powstają one dzięki jakiemuś procesowi w eterze, który nie ma sobie analogicznego pomiędzy dotychczas obserwowanymi, jako że w jednorodnym polu magnetycznym bieg promieni tych jest kolisty, a nie — prostoliniowy. Inny pogląd na te promienie orzeka, iż one nie są wcale natury eterowej, lecz są w rzeczywistości zupełnie materyalne i że znaczą drogi cząsteczek materyi, naładowanych elektrycznością odjemną. Zdawałoby się na pierwszy rzut oka, że nie powinno być trudno rozstrzygnąć pomiędzy poglądami tak różnymi, lecz doświadczenie pokazuje, że rzecz się ma inaczej, gdyż pomiędzy fizykami, którzy przedmiot ten najgłębiej badali, można znaleźć stronników obydwu teoryi.

Teorya cząsteczek naelektryzowanych ma z punktu widzenia badacza wielką przewagę nad teoryą eterową, gdyż

*) Cathode Rays. By J. J. Thomson, M. A., F. R. S., Cavendish professor of experimental physics, Cambridge. Philosophical Magazine, 1897, t. 44, str. 293.

jest wyraźnie określona, i wnioski z niej wypływające mogą być przepowiedziane; w teorii eterowej jest niepodobieństwem przewidzieć, co zajdzie w jakichkolwiek danych okolicznościach, gdyż podług teorii tej mamy tu do czynienia z dotychczas nieobserwowanymi zjawiskami w eterze, których praw nie znamy.

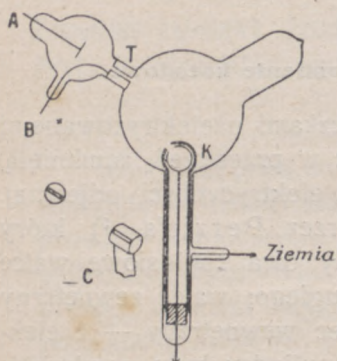
Następujące doświadczenia były wykonane celem sprawdzenia niektórych wniosków teorii cząsteczek naelektryzowanych.

Ładunek, niesiony przez promienie katodowe.

Jeżeli te promienie są cząsteczkami naelektryzowanymi odjemnie, w takim razie, wchodząc w przestrzeń zamkniętą, powinnyby wnosić w nią ładunek elektryczności odjemnej. Że tak jest, było dowiedzione przez Perrin'a, ⁵⁾ który umieścił naprzeciw płaskiej katody dwa spłosione walce metalowe, izolowane jeden od drugiego; walec zewnętrzny był połączony z ziemią, a walec wewnętrzny — z elektroskopem o złotych listkach. Te cylindry były zamknięte, z wyjątkiem dwu małych otworów, zrobionych każdy w jednym z nich; były one tak umieszczone, że promienie katodowe mogły przez nie przejść do środka walca wewnętrznego. Perrin znalazł, że, kiedy promienie przechodziły do walca wewnętrznego, elektroskop otrzymywał ładunek elektryczności odjemnej, gdy tymczasem żaden ładunek nie dochodził do elektroskopu, kiedy promienie były odchylane przez magnes tak, że już nie przechodziły przez otwór.

To doświadczenie dowodzi, że coś naładowanego elektrycznością odjemną jest wyrzucanem przez katodę, przyczem biegnie to coś prostopadle względem katody; i jest ono odchylane przez magnes. Jednak to doświadczenie dopuszcza zarzut, iż nie dowodzi ono, że przyczyna elektryzacji elektroskopu ma jakikolwiek związek z promieniami katodowymi. Albowiem stronnicy teorii eterowej nie zaprzeczają, iż cząsteczki naelektryzowane są wyrzucane przez katodę, przeczą

oni jednak temu, aby te cząstki naładowane miały cokolwiek więcej związku z promieniami katodowymi, niż go ma kula karabinowa z błyskiem, który powstaje przy wystrzale. Dlatego też powtórzyłem doświadczenie Perrin'a w formie, która nie dopuszcza tego zarzutu. Użyty układ doświadczenia był następujący. Dwa walce spółśrodkowe, (fig. 77) zaopatrzone w szpary, umieszczono w rurce bocznej, połączonej z rurą wyładowań; promienie katodowe od katody *A* dochodzą do rurki bocznej przez szparę w korku



Elektrometr

Fig. 77.

metalowym, ściśle przylegającym do szyjki rurki bocznej; ten korek jest połączony z anodą i z ziemią. Tym sposobem promienie katodowe nie padają wewnątrz cylindrów, o ile nie są odchylane przez magnes. Cylinder zewnętrzny jest połączony z ziemią, wewnętrzny — z elektrometrem. Kiedy promienie katodowe (których droga była zaznaczona przez fosforoscencję na szkłe) nie padały na szparę, ładunek elektryczny wysyłany

elektrometrowi, kiedy puszczano w ruch cewkę indukcyjną, wytwarzającą promienie, był mały i nieregularny; gdy jednak promienie były zaginane przez magnes tak, że padały na szparę, to ku elektrometrowi był wysyłany duży ładunek elektryczności odjemnej. Zdziwiła mnie nieoczekiwana wielkość naboju; w niektórych przypadkach przez wąską szparę przechodziło do walca wewnętrznego dość elektryczności, aby w ciągu jednej sekundy zmienić potencjał kondensatora o pojemności 1.5 mikrofarada o 40 woltów. Gdy promienie były tak silnie zaginane przez magnes, że przebiegały poza szparą walca, ładunek wchodzący do walca znów spadał do małego ułamka swej wartości poprzedniej, to jest, kiedy promienie trafiały do celu. Tak więc to doświadczenie pokazuje, że, choć skręcamy i odchylamy promienie kato-

dowe zapomocą sił magnetycznych, elektryzacja ujemna jest nierozzerwalnie związana z promieniami katodowymi.

.....

Odchylenie promieni katodowych przez pole elektrostatyczne.

Jako silny dowód przeciwko pogładowi, że promienie katodowe są cząstkami naelektryzowanymi odjemnie, bardzo powszechnie podają to, że dotąd nie obserwowano odchylenia tych promieni pod wpływem małej siły elektrostatycznej. Chociaż promienie są odchylane, kiedy przechodzą w pobliżu elektrod, połączonych ze źródłami znacznych różnic potencjału, jak cewki indukcyjne lub maszyny elektryczne, to jednak zwolennicy teorii eterowej uważają, że w tym przypadku odchylenie powstaje wskutek wyładowania, przechodzącego pomiędzy elektrodami, nie zaś na skutek pola elektrostatycznego, jako przyczyny pierwotnej. Hertz przepuszczał promienie pomiędzy dwiema płytami metalowymi, umieszczonemi wewnątrz rurki wyładowań, lecz znalazł, że promienie nie były odchylane, kiedy płyty były połączone z baterią akumulatorów. Powtarzając to doświadczenie, otrzymałem z początku ten sam wynik, lecz doświadczenia następne pokazały, że brak odchylenia jest spowodowany przewodnictwem, nadanem gazowi rozrzedzonemu przez promienie katodowe. Mierząc to przewodnictwo, znaleziono, że ono zmniejsza się nader prędko, gdy stopień rozrzedzenia wzrasta; zdawało się, że, próbując doświadczenia Hertz'a przy bardzo silnych rozrzedzeniach, możnaby mieć dane do wykrycia odchylenia promieni katodowych zapomocą siły elektrostatycznej.

Użyty przyrząd jest przedstawiony na fig. 78. Promienie, idące od katody *C*, przechodzą przez szparę w anodzie *A*, którą stanowi korek metalowy, szczelnie przylegający do rurki i połączony z ziemią; po przejściu przez drugą szparę w drugim korku metalowym *B*, połączonym z ziemią, biegną

one pomiędzy dwiema równoległymi płytkami glinowymi, które mają około 5 cm. długości, 2 cm. szerokości i są odległe od siebie o 1.5 cm.; wówczas padają promienie na koniec rurki i wytwarzają wąską plamkę fosforyzującą o ost-

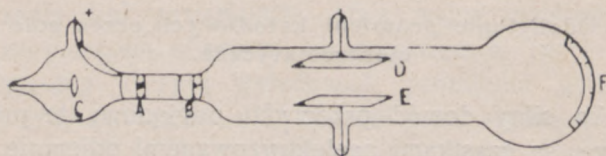


Fig. 78.

rych konturach. Skala przyklejona na stronie zewnętrznej rurki służy do mierzenia odchylenia tej plamki. Przy silnych rozrzedzeniach promienie były odchylane, kiedy płytki aluminiowe łączono z biegunami baterji małych akumulatorów. Promienie były odpychane na dół, kiedy płyta górna była połączona z odjemnym biegunem baterji, a dolna — z dodatnim, i były podnoszone, kiedy płyta górna była połączona z biegunem dodatnim, a dolna z odjemnym. Odchylenie było proporcjonalne do różnicy potencjału pomiędzy płytkami, i mogłem wykryć odchylenie wtedy nawet, gdy różnica potencjałów była nie większa od dwu woltów.

Odchylenie magnetyczne promieni katodowych w różnych gazach.

Odchylenie promieni katodowych w polu magnetycznym badano zapomocą przyrządu, pokazanego na fig. 79. Katoda była umieszczona w rurce bocznej, przymocowanej do klosza; otwór pomiędzy tą rurką i kloszem był zamknięty zapomocą korka metalowego (*T*), zaopatrzonego w szparę; ten korek był połączony z ziemią i był używany jako anoda. Promienie katodowe dochodziły do klosza przez szparę, biegnąc w nim wzdłuż powierzchni szklanej płyty pionowej

podzielonej na małe kwadraty. Klosz umieszczano pomiędzy dwiema dużymi cewkami równoległymi, urządzo-
nemi na wzór galwanometru Helmholtz'a. Bieg promieni określano, robiąc zdjęcie fotograficzne klosza, podczas przejścia przezeń promieni katodowych; podziałki na płytce pozwalały określić tor promieni.

Badania utrudniała ta okoliczność, że wiązka promieni nie była jednorodna i pod wpływem pola magnetycznego rozszczepiała się na kilka części niejednakowo odchylanych.

Fotografie uwydatniały jeden punkt nader interesujący—mianowicie, że, w danym polu magnetycznym i przy danej przeciętnej różnicy potencjałów pomiędzy elektrodami, droga promieni nie zależy od natury gazu. Były wykonane zdjęcia wyładowania w wodorze, powietrzu, dwutlenku węgla, jodku metylu, to jest w gazach, których gęstości są zawarte pomiędzy 1 a 70, a jednak nie tylko drogi najbardziej odchylanych promieni były te same we wszystkich przypadkach, lecz nawet szczegóły takie, jak rozmieszczenie odstępów jasnych i ciemnych, były te same, i rzeczywiście, z trudnością można było odróżnić jedne fotografie od drugich; ciśnienia nie były te same; ciśnienia w różnych gazach tak były dobrane, żeby przeciętne różnice potencjału pomiędzy katodą i anodą były we wszystkich gazach te same. Kiedy się obniża ciśnienie gazu, różnica potencjałów pomiędzy elektrodami wzrasta, i odchylenie promieni wywołane przez magnes zmniejsza się, lub w każdym razie zmniejsza się odchylenie promieni, kiedy fosforescencya jest maksymalna. Włączenie iskiernika daje ten sam skutek.

Ponieważ promienie katodowe niosą ładunek elektryczności ujemnej, odchylane są przez siłę elektrostatyczną, jak gdyby były naelektryzowane ujemnie, i siła magnetyczna działa na nie tak właśnie, jakby działała na ciało naelektryzowane ujemnie, poruszające się wzdłuż drogi tych promieni,

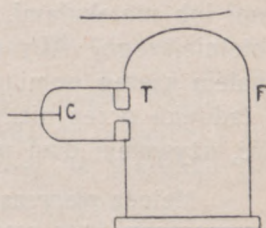


Fig. 79.

wyduje mi się więc nieuniknionym wniosek, że to są naboje elektryczne, przenoszone przez cząstki materji. Powstaje najsamprzód pytanie: czem są te cząsteczki? czy one są atomami lub molekułami, czy też materją w stanie podziału subtelniejszego? Aby rzucić na ten punkt nieco światła, wykonałem szereg pomiarów stosunku masy tych cząsteczek do ładunku przez nie przenoszonego. Aby wyznaczyć tę wielkość, używałem dwu metod od siebie niezależnych.

Metoda pierwsza polegała na tem, że autor określał ładunek, przenoszony przez promienie i ich energję kinetyczną, a zarazem obserwował ich odchylenie w polu magnetycznem danego natężenia. Te pomiary prowadzą do dwu prostych równań, zawierających dwie niewiadome $\frac{m}{e}$ i v , to jest stosunek naboju do masy i prędkość promieni. Ta metoda, ze względu na trudności doświadczalne, nie daje wyników równie dokładnych, jak metoda poniższa, która przez badaczy późniejszych była doprowadzona do znacznego stopnia doskonałości.

...Opiszę inną metodę mierzenia wielkości $\frac{m}{e}$ i v , zupełnie odmienną od poprzedniej; ta metoda jest oparta na odchyleniu promieni katodowych w polu elektrostatykiem. Jeżeli zmierzmy odchylenie, którego doznają promienie, przebywając drogę danej długości przy jednostajnem natężeniu pola elektrycznego, i — odchylenie promieni, kiedy one przebiegają daną odległość pod wpływem jednorodnego pola magnetycznego, będziemy mogli znaleźć wielkości $\frac{m}{e}$ i v w sposób następujący. ⁶⁾

Niech l oznacza przestrzeń, przebywaną przez promienie, wystawione na działanie pola elektrycznego o jednostajnem natężeniu F ; wtedy czas zużyty przez promienie na przebycie tej przestrzeni równy jest $\frac{l}{v}$, a zatem prędkość w kierunku F równa się

$$\frac{Fe}{m} = \frac{l}{v}$$

tak że θ , kąt, o który są odchylone promienie, kiedy opuszczają pole elektryczne i wchodzi w obszar, wolny od sił elektrycznych, dany jest przez równanie:

$$\theta = \frac{Fe}{m} \cdot \frac{l}{v^2}$$

Jeżeli zamiast pola elektrycznego na promienie działa pole magnetyczne o natężeniu H , prostopadłe do promieni i rozciągające się na odległość l , to prędkość w kierunku prostopadłym do pierwotnej drogi promieni równa jest

$$\frac{Hev}{m} \cdot \frac{l}{v}$$

tak, że Φ , kąt o który się odchylają promienie, opuszczając pole magnetyczne, dany jest przez równanie:

$$\Phi = \frac{He}{m} \cdot \frac{l}{v}$$

Z tych równań otrzymujemy

$$v = \frac{\Phi}{\theta} \cdot \frac{F}{H}$$

$$\frac{m}{e} = \frac{H^2 l}{F \Phi^2}$$

W niniejszych doświadczeniach H tak było dobrane, że $\Phi = \theta$; w tym przypadku równania te przybierają kształt:

$$v = \frac{F}{H}$$

$$\frac{m}{e} = \frac{H^2 l}{F \theta}$$

Przyrząd użyty do mierzenia v i $\frac{m}{e}$ zapomocą tej metody jest przedstawiony na fig. 78. Pole elektryczne wytwarzano, łącząc z biegunami baterji akumulatorów dwie płytki aluminiowe. Fosforyzująca plamka na końcu rury była odchylana, i odchylenie mierzono zapomocą skali przyklejonej do końca rurki. Ponieważ trzeba było zaciemniać pokój, aby widzieć

plamkę fosforyzującą, umieszczano przeto wskazówkę pokrytą masą świecąca, tak iż zapomocą śruby można ją było przesuwać wzdłuż skali do góry i na dół; igła ta mogła być widziana, kiedy pokój był zaciemniony; poruszano ją, dopóki nie łączyła się z plamką fosforyzującą. Wówczas, wpuszczając światło, można było mierzyć odchylenie plamki fosforyzującej.

Pole magnetyczne wytwarzano, umieszczając zewnątrz rurki dwie cewki, których średnica była równa długości płytek; szpulki umieszczano tak, że one pokrywały przestrzeń, zajęta przez płyty; odległość pomiędzy szpulkami była równa promieniowi każdej z nich.

Natężenie pola magnetycznego mierzono, obserwując zapomocą galwanometru ballistycznego prąd, wzbudzony przez indukcję w trzeciej szpulce pomocniczej, gdy zmieniano kierunek prądu w szpulkach, wytwarzających pole magnetyczne.

Był wykonany szereg doświadczeń w celu przekonania się, czy odchylenie elektrostatyczne jest proporcjonalne do natężenia pola elektrycznego pomiędzy płytami; znaleziono, że ma to miejsce. W poniższych eksperymentach prąd w szpulkach tak był dobrany, że odchylenie elektrostatyczne było takie same, jak i magnetyczne.

G A Z	θ	H	F	l	$\frac{m}{e}$	v
Powietrze	$\frac{8}{110}$	5.5	1.5×10^{10}	5	1.3×10^{-7}	2.8×10^9
Powietrze	$\frac{9.5}{110}$	5.4	1.5×10^{10}	5	1.1×10^{-7}	2.8×10^9
Powietrze	$\frac{13}{110}$	6.6	1.5×10^{10}	5	1.2×10^{-7}	2.3×10^9
Wodór	$\frac{9}{110}$	6.3	1.5×10^{10}	5	1.5×10^{-7}	2.5×10^9
Dwutlenek węgla	$\frac{11}{110}$	6.9	1.5×10^{10}	5	1.5×10^{-7}	2.2×10^9
Powietrze	$\frac{6}{110}$	5	1.8×10^{10}	5	1.3×10^{-7}	3.6×10^9
Powietrze	$\frac{7}{110}$	3.6	1×10^{10}	5	1.1×10^{-7}	2.8×10^9

W pierwszych pięciu doświadczeniach katoda była z glinu, w dwu ostatnich — z platyny; w ostatniem doświadczeniu zastosowano Sir Williama Crookes'a metodę usuwania pary rtęci przez włączanie pomiędzy pompę a rurkę próżniową rurki z siarką tłuszczoną, jodkiem siarki i strużkami miedzianymi.

Z tych wyznaczeń widzimy, że wartość $\frac{m}{e}$ nie zależy od natury gazu, i że wartość tego stosunku 10^{-7} jest bardzo mała w porównaniu z wartością 10^{-4} , która jest najmniejszą wartością tej wielkości, jaką znano poprzednio, a która została znaleziona w przypadku jonu wodorowego w elektrolizie. 7)

Tak więc dla cząstek niosących elektryczność w promieniach katodowych ułamek $\frac{m}{e}$ jest bardzo mały w porównaniu z jego wartością w elektrolizie. Mała wartość $\frac{m}{e}$ może zależeć bądź od tego, że m jest małe, bądź od tego, że e jest wielkie, bądź od kombinacji tych dwu przyczyn.

Jak mniemam, tłumaczenie zdające sprawę z faktów w sposób najprostszy i najbardziej bezpośredni, jest oparte na poglądzie na budowę pierwiastków chemicznych, który był przychylnie przyjęty przez wielu chemików: ten pogląd polega na tem, że atomy różnych pierwiastków chemicznych są różnorodnymi agregatami atomów tego samego rodzaju. W formie, w której hipoteza ta była wypowiedziana przez Prousta, atomy różnych pierwiastków byłyby atomami wodoru; w tej określonej formie hipoteza nie da się utrzymać; lecz, jeżeli zastąpimy wodór jakąś nieznaną materią pierwotną X, to nie znajdziemy faktów z hipotezą taką niezgodnych. Taką hipotezę podtrzymywał niedawno Sir Norman Lockyer dla racji wynikających z badań nad widmami gwiazd.

Gdyby w bardzo silnem polu elektrycznem, w sąsiedztwie katody molekuly gazu doznawały dysocjacji i były rozszczepiane nie na zwyczajne atomy chemiczne, lecz na te praatomy, które gwoli krótkości będziemy nazywali korpuskułami; i gdyby te korpuskuły były naładowane elektrycznością i wyrzucane od strony katody przez pole elektryczne, to one zachowywałyby się ściśle tak, jak się zachowują promienie katodowe. Dawałyby one oczywiście wartość $\frac{m}{e}$, niezależną od natury gazu i jego ciśnienia, gdyż cząstki, niosące ładunek, byłyby te same, niezależnie od gazu.

.....

Tak więc, w myśl poglądu tego, mamy w promieniach katodowych materję w nowym stanie, stanie, w którym podział materji doprowadzony został nierównie dalej, niż w zwykłym stanie lotnym; — w stanie, w którym wszelka materja, — to jest materja, pochodząca z różnych źródeł takich, jak wodór, tlen i t. p. jest jednego i tego samego rodzaju. Ta materja jest substancją, z której są zbudowane wszystkie pierwiastki chemiczne.

Przy użyciu przyrządów wielkości zwykłej, ilość materji, wytworzonej wskutek dysocjacji koło katody, jest tak mała, iż wyklucza niemal możliwość jakiegokolwiek badania chemicznego jej własności. Tak obliczyłem, że gdyby cewka, której używałem, była w ciągu roku w ruchu nieustannym w dzień i w nocy, to wytworzyłaby tylko około jednej trzymilionowej części grama tej substancji.

.....

O przechodzeniu elektryczności przez gazy, wystawione na działanie promieni Röntgen'a. Przez J. J. Thomson'a i E. Rutherford'a. *)

Łatwość, z jaką gaz, przez zastosowanie i usunięcie promieni Röntgen'a, może być przemieniony z przewodnika na izolator, czyni użycie tych promieni cennym środkiem dla studyowania przewodnictwa elektryczności w gazach, a badanie własności gazów w stanie, w jaki je wprowadzają promienie, obiecuje cenne wyniki w kwestyach, z tym przedmiotem związanych. W ciągu kilku minionych miesięcy wykonaliśmy szereg doświadczeń, dotyczących przechodzenia elektryczności przez gazy, wystawione na działanie tych promieni; wyniki tych doświadczeń są zawarte w poniższej rozprawie.

Gaz zachowuje swą zdolność przewodzenia w ciągu krótkiego czasu po przerwaniu działania nań promieni. Można to łatwo pokazać, zasłoniwszy naładowaną elektrodę od bezpośredniego wpływu tych promieni, które przez okienko aluminiowe przechodzą z rurki próżniowej do pudełka obitego blachą ołowianą. Choć niema straty ładunku, kiedy po-

*) On the passage of electricity through gases exposed to Röntgen Rays. By J. J. Thomson, M. A., F. R. S. Cavendish professor of experimental physics, Cambridge, and E. Rutherford, M. A., Trinity College, Cambridge, 1851 Exhibition Scholar, New Zealand University. Philosophical Magazine, 1896, t. 42, str. 392.

wietrze w pobliżu elektrody jest spokojne, to jednak, gdy skierowujemy na elektrodę prąd powietrza poprzez przestrzeń ponad okienkiem aluminiowym, elektroda niezwłocznie zaczyna tracić nabój.

Aby zbadać szczegółowiej ten punkt, używaliśmy przyrządu następującego. ⁸⁾

Zamknięte naczynie glinowe umieszczano naprzeciw okienka, przez które przechodzą promienie. Do tego naczynia prowadzi rurka, przez którą powietrze może być wdmuchiwane zapomocą pary mieszków; przepływ powietrza przez rurkę mierzono zapomocą gazomierza, połączonego z rurką szeregowo; w rurce, prowadzącej do naczynia, umieszczano korek z waty szklanej w celu usunięcia pyłu. Powietrze opuszczało naczynie aluminiowe przez inną rurkę, na końcu której było umieszczone urządzenie do mierzenia szybkości straty ładunku elektrycznego (zwykle drut naładowany do wysokiego potencjału, umieszczony wzdłuż osi rurki metalowej doziemionej, przez którą przechodził prąd gazu; jednocześnie drut był połączony z jedną parą kwadrantów elektrometru). To urządzenie było starannie ochronione od wpływu bezpośredniego promieni; nie było strat, dopóki prąd powietrza nie przechodził przez przyrząd; gdy jednak płynął prąd powietrza, zachodziła znaczna strata, wskazująca, że powietrze, po wystawieniu na działanie promieni, zachowywało swoją zdolność przewodzenia przez czas (około $\frac{1}{2}$ sekundy), który zużywało na przejście od naczynia glinowego do naładowanej elektrody.

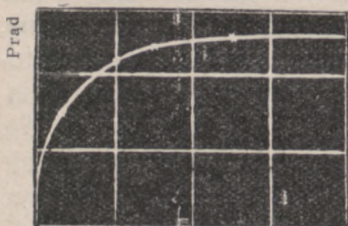
Próbowaliśmy, czy przewodnictwo gazu nie będzie niszczone przez ogrzewanie go podczas przechodzenia od miejsca, gdzie był wystawiony na działanie promieni, do miejsca, gdzie badano jego przewodnictwo. W tym celu włączano kawałek rurki porcelanowej, który ogrzewano do białości; gaz po przejściu przez tę rurkę był tak gorący, że ręka nie mogła wytrzymać prądu jego, jednak przewodnictwo wydawało się bynajmniej niezakłóconem. Kiedy jednak pęczki gazu bulgoczą, przechodząc przez wodę, wówczas znika, zda się, wszelki ślad przewodnictwa. Gaz tracił również swe

przewodnictwo, kiedy go przepuszczano przez korek z waty szklanej, choć przepływ był ten sam, co i w doświadczeniu, które dawało szybką stratę. Kiedy ten sam korek był umieszczony wewnątrz układu rurek, zanim gaz dochodził do naczynia, w którym był wystawiony na działanie promieni Röntgen'a, wówczas przewodnictwo nie było zmniejszone. To doświadczenie zdaje się pokazywać, że struktura, dzięki której gaz jest przewodnikiem, jest tak gruba (coarse), że nie może znieść przejścia przez małe pory w korku z waty szklanej. Diafragma z delikatnej siatki drucianej lub muślinu zdaje się nie wpływać na przewodnictwo.

Wiele do myślenia daje wynik przechodzenia prądu elektrycznego przez gaz na jego drodze pomiędzy naczyniem glinowem, gdzie jest wystawiony na działanie promieni Röntgen'a, a miejscem, gdzie się bada jego przewodnictwo. Zbadaliśmy to, włączając w obwód rurkę metalową, wzdłuż osi której był umieszczony drut izolowany, połączony z jednym biegunem baterji małych akumulatorów, gdy drugi biegun baterji był połączony z rurką metalową; tym sposobem przy przechodzeniu gazu przez rurkę, przesyłano prąd elektryczności.⁹⁾ Przechodzenie prądu z kilku ogniw wystarczało, aby znacznie zmniejszyć przewodnictwo gazu, przechodzącego przez rurkę, a przez powiększenie liczby ogniw przewodnictwo gazu mogło być zupełnie zniszczone. Tym sposobem prąd elektryczny przy swem przechodzeniu niszczy osobliwy stan, w którym znajduje się gaz wskutek działania promieni Röntgen'a. Niszczy ten stan prąd, a nie — pole elektryczne; albowiem, gdy środkowy drut jest zamknięty w rurce szklanej, która zatrzymuje tym sposobem prąd, a pozostawia pole elektryczne; gaz przechodzi przez rurkę, zachowując swe przewodnictwo nienaruszonym. Prąd wywiera na gaz to samo działanie, któreby wywierał w nader słabym roztworze elektrolitu. Wyobraźmy sobie bowiem, że przez rurki zamiast gazu przepływa roztwór; wówczas, gdyby przez roztwór przeszło dość elektryczności, aby rozłożyć cały elektrolit, roztwór, po wyjściu z rurki, byłby nieprzewodnikiem; i to właśnie

zachodzi w przypadku gazu. Zobaczymy, że analogia pomiędzy roztworem rozcieńczonym elektrolitu i gazem, wystawionym na działanie promieni Röntgen'a, zachowuje swą wartość w obszernym zakresie i znaleźliśmy, że ona jest wielce pożyteczna dla wytłómaczenia wielu charakterystycznych własności przewodnictwa w gazach. ¹⁰⁾

Ten fakt, że przechodzenie przez gaz prądu elektryczności niszczy jego przewodnictwo, tłómaczy nader charakterystyczną własność straty elektryczności w gazach, wystawionych na działanie promieni Röntgen'a; mianowicie, przy danym natężeniu promieniowania, prąd w gazie nie przewyższa pewnej wartości maksymalnej, niezależnie od wielkości siły elektrobodźczej,—prąd staje się jakby „nasyconym“.



Siła el. mot.

Fig. 80.

Związek pomiędzy siłą elektrobodźczą i prądem jest pokazany na dołączonej krzywej, (fig. 80) gdzie rzędne dają prąd, a odcięte—siłę elektrobodźczą. Jest oczywiste, że to nasycenie musi zachodzić, kiedy prąd niszczy zdolność przewodzenia gazu, i prądem maksymalnym będzie prąd, który niszczy przewodnictwo w tej samej mie-

rze, w jakiej ta własność jest wytwarzana przez promienie Röntgen'a.

Autorowie ujmują dalej w formę matematyczną myśl o przewodnictwie za pomocą jonów. Wzory prowadzą do ciekawego wniosku: opór elektryczny gazu, o ile jest osiągnięty prąd nasycenia, powinien zmniejszać się wraz z powiększeniem odległości elektrod. Konieczność tego można jednak zrozumieć i bez wzorów. Prąd powstaje wskutek poruszania się jonów w polu elektrycznym. W stanie nasycenia wszystkie jony są przez pole zabierane; przy większej odległości elektrod, mamy więcej jonów rozporządzalnych, a zatem i prąd nasycenia — silniejszy. Dajemy poniżej wyniki badań oryginalnych.

...Prąd graniczny jest proporcjonalny do odległości pomiędzy elektrodami tak, iż, kiedy się zbliżamy do nasycenia, prąd będzie wzrastał w miarę wzrastania odległości pomiędzy elektrodami, i otrzymujemy ten, na pierwszy rzut oka, paradoksalny wynik, że cienka warstwa powietrza okazuje przechodzeniu prądu opór większy, niż warstwa grubsza. Łatwo jednak zdać z tego sprawę, pamiętając, że w warstwie grubszej mamy więcej cząsteczek przewodzących, niż w warstwie cieńszej, a zatem i prąd potrzebny do zniszczenia ich będzie większy.

Doświadczenia pokazują, że wpływ odległości pomiędzy elektrodami (dwie płyty równoległe) na prąd jest bardzo silnie zaznaczony. Następująca tabelka pokazuje wynik niektórych doświadczeń, dotyczących tej kwestyi.

Różnica potencjału pomiędzy elektrodami 60 woltów.

Odległość pomiędzy elektrodami w mm.	Prąd (w dowolnych jednostkach).
0.1	9
0.12	15
0.25	21
0.5	37
1.	50
1.5	62
3	91
8	110

Przy tych dużych różnicach potencjału prąd był nasycony we wszystkich doświadczeniach.

.....

Pomiar wielkości wyładowania, kiedy prąd jest nasycony, pozwala nam ocenić liczbę cząsteczek przewodzących obecnych w gazie; albowiem w tym przypadku liczba cząsteczek przewodzących, wytworzonych przez promienie w ciągu jednostki czasu, równa jest ilości elektrolitu, zniszczonej przez prąd w ciągu tego samego czasu. Weźmy przypadek

wodoru; przy prądzie nasyconym strata elektryczności płyt o powierzchni około 10 cm.^2 każda, odległych od siebie o 1 cm. , wynosiła 1 wolt na sekundę, kiedy z elektrometrem była połączona pojemność wielkości około 30 cm. Tym sposobem ilość elektryczności, przechodząca pomiędzy płytami w ciągu jednej sekundy, wynosiła około 10^{-1} jednostek elektrostatycznych lub $\frac{1}{3 \times 10^{11}}$ jednostek elektromagnetycznych, i ta ilość jest dostateczna, aby zelektrolizować cały gaz elektrolityczny, wytworzony przez promienie Röntgen'a. Z drugiej strony 1 jednostka elektromagnetyczna wyswabadza 10^{-4} gramów wodoru lub około 1 cm.^3 w zwykłej temperaturze i pod ciśnieniem atmosferycznym. A zatem $\frac{1}{3 \times 10^{11}}$ jedn. elektromagnetycznych odpowiada prawie takiej samej liczbie cent. sześciennych wodoru; objętość przestrzeni pomiędzy elektrodami wynosiła około 10 cm.^3 ; tym sposobem w doświadczeniu tem ułamek gazu zelektrolizowanego wynosił tylko $\frac{1}{3 \times 10^{12}}$, to jest jedną trybilionową całkowitej ilości gazu. Nie dziw, że niektóre doświadczenia, czynione przez nas, aby się przekonać, czy przy przechodzeniu promieni Röntgen'a zachodzi jakakolwiek zmiana w ciśnieniu, musiały dać wyniki ujemne.

UWAGI.

¹⁾ (Str. 404). Ob. uw. 2-gą na str. 349, zbioru niniejszego.

²⁾ (Str. 418). Siła, wywierana w polu magnetycznym o natężeniu M na cząsteczkę o naboju e , posiadającą prędkość v , równa jest Mev (ob. str. 78 tomu 3-go podręcznika Witkowskiego); ta siła gra rolę siły dośrodkowej, utrzymującej cząsteczkę na obwodzie koła, a zatem $Mev = \frac{mv^2}{r}$.

³⁾ (Str. 424). Przez wiele lat panował pogląd, że promienie katodowe są zjawiskiem, zachodzącym w eterze. Pogląd ten podtrzymywał, między innymi, H. Hertz. Dopiero w końcu wieku XIX, gdy Perrin dostarczył dowodu niezbitego, że promienie katodowe niosą ładunek elektryczny, zaczęto się skłaniać ku obecnie przyjętemu pogładowi, iż mamy tu do czynienia z promieniowaniem materyalnym.

⁴⁾ (Str. 426). Fosforami ziem alkalicznych nazywają siarczki wapnia, strontu i baru. Związki te posiadają nader silną fosforescencyę, która jest zależna od sposobu ich przygotowania i od nader nieznaczących domieszek innych metali.

⁵⁾ (Str. 441). Perrin — wybitny badacz francuski.

⁶⁾ (Str. 446). Podany przez J. J. Thomson'a wywód tych wzorów zasadniczych jest niezmiernie prosty i wymaga tylko zastosowania elementarnych pojęć mechaniki. Wyobraźmy sobie cząstkę, która biegnie od A do B (fig. 83), zachowując w tym kierunku dzięki bezwładności niezmienną prędkość v . Czas, zużyty na przebycie tej przestrzeni, równy jest oczywiście $\frac{l}{v}$. Jeżeli jednocześnie natężenie pola elektrostatycznego na drodze AB , które to

pole jest prostopadłe do kierunku ruchu, wynosi F , to na naszą cząstkę działa siła Fe . Przypadek ten przypomina pod względem

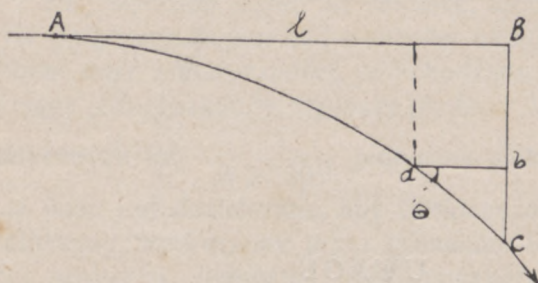


Fig. 81.

mechanicznym swobodne spadanie ciał przy rzucie poziomym. I w tym przypadku będzie zakreślany przez ciało tor paraboliczny. Na podstawie 2-go prawa Newton'a napiszemy, że $f = ma = Fe$, a da-

lej, — że $v' = at$ (ruch jednost. przysp.), gdzie f oznacza siłę, a — przyspieszenie, t czas trwania ruchu i v' — prędkość nabytą przez ciało w kierunku prostopadłym względem AB . Z równań poprzednich wynika, że

$$a = \frac{Fe}{m} \text{ i } v' = \frac{Fe}{m} t.$$

Ponieważ czas, w ciągu którego ciało przebywa drogę AB , jest równy $\frac{l}{v}$, przeto

$$v' = \frac{Fe}{m} \cdot \frac{l}{v}.$$

Rozpatrzmy teraz nieskończenie krótki odcinek czasu τ , w ciągu którego ciało przebywa niezmiernie małą część drogi ac (ob. fig. 81). Możemy uważać ac za odcinek prostej. W takim razie

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{bc}{ab}$$

Możemy uważać, że w ciągu niezmiernie krótkiego czasu τ obydwa odcinki ab i bc są przebywane ruchem jednostajnym. W takim razie

$$ab = v\tau; \quad bc = v'\tau = \frac{Fe}{m} \cdot \frac{l}{v} \cdot \tau.$$

Podstawiając te dane we wzór na $\operatorname{tg} \theta$, znajdziemy

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\frac{Fe}{m} \cdot \frac{l}{v} \cdot \tau}{v \tau} = \frac{Fe}{m} \cdot \frac{l}{v^2}.$$

Ponieważ kąt θ jest zawsze bardzo mały, przeto $\operatorname{tg} \theta$ możemy zastąpić przez θ i wówczas otrzymamy wzór podany przez Thomson'a. Zupełnie analogicznie będziemy rozumowali w przypadku odchylenia magnetycznego. Różnica polega tylko na tem, że siła, którą wywiera pole magnetyczne na cząstkę, naładowaną elektrycznością i poruszającą się z prędkością v , jest równa Hev , gdzie H oznacza natężenie pola magnetycznego, a e — nabój cząstki. (Ob. uzasadnienie tego wzoru W. Z. t. III, str. 78, art. 33). A więc w polu magnetycznem $f = ma = Hev$. Aby znaleźć kąt Φ postępujemy w sposób identyczny z powyżej wskazanym.

⁷⁾ (Str. 449). Obecnie wyznaczamy zwykle stosunek odwrotny $\frac{e}{m}$. Z doświadczeń Thomson'a wynika, że stosunek ten jest nieco mniejszy, niż 10^7 . Podług nowszych ściślejszych pomiarów stosunek ten dla elektronów, wyrażony w jednostkach elektromagnetycznych C. G. S., = 1.76×10^7 . Co dotyczy elektrolizy, wiadomo, że 1 gr. wodoru (w liczbie okrągłej) jest wydzielany przez 9650 jednostek bezwzględnych elektromagnetycznych; t. j. prawie przez 10^4 jedn. elektrom. C. G. S. Wynika stąd, że dla wodoru stosunek $\frac{m}{e} = \frac{1}{10^4}$.

⁸⁾ (Str. 452). Układ doświadczenia jest pokazany na fig. 82. Przez rurkę r przechodzi powietrze w kierunku wskazanym strzałką. Wewnątrz naczynia glinowego G gaz jest wystawiony na działanie

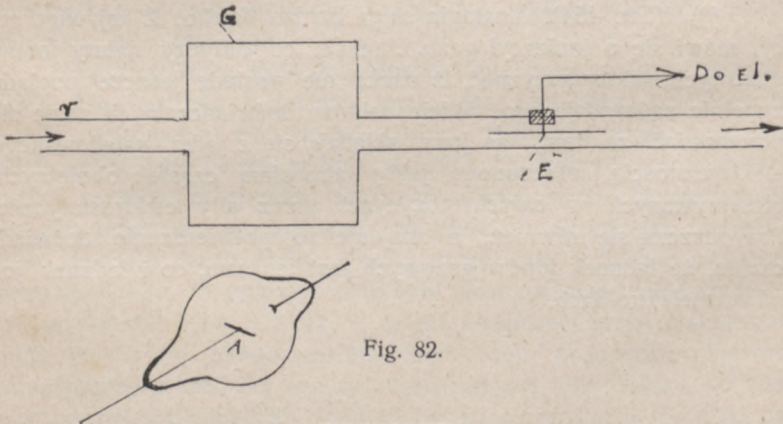


Fig. 82.

promieni X, idących od antykatory A rurki Röntgen'owskiej. E oznacza elektrodę, połączoną z elektrometrem. Elektroda jest osadzona na przecie, przechodzącym przez korek izolujący.

⁹⁾ (Str. 453). Włączona w obwód rurka była połączona z biegunami baterji w sposób pokazany na fig. 83. Biegun dodatni np. łączono z walcem wewnętrznym, izolowanym od rurki zapomocą

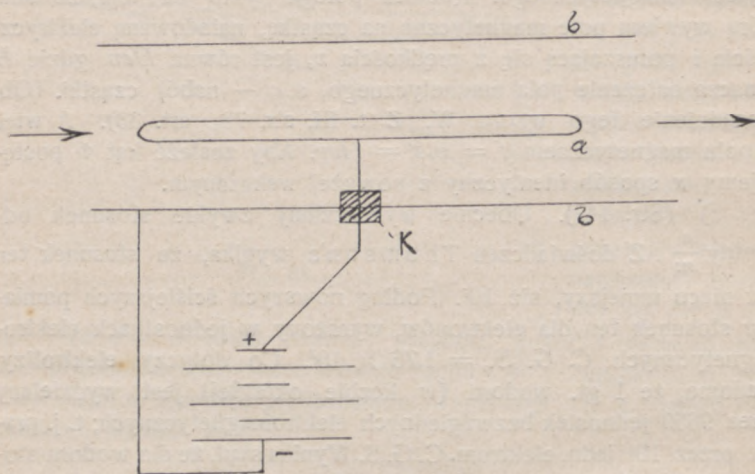


Fig. 83.

korka *k*; od bieguna ujemnego prowadził drut do rury zewnętrznej. W przestrzeni pomiędzy *a* i *b* powstawało wówczas pole elektryczne.

¹⁰⁾ (Str. 454). Analogia sięga bardzo daleko. Z tej więc racji mówi się o jonizacji gazu. Jednak, co dotyczy natury jonów gazowych, należy przyznać, iż nauka nie posiada jeszcze poglądu zupełnie zadawalającego. Wiele faktów doświadczalnych zdaje się przemawiać za tem, że jony składają się z jądra naładowanego elektrycznością, otoczonego jakby atmosferą cząstek obojętnych, utrzymywanych w swych pozycjach przez siły elektrostatyczne. Przypuszcza się również, a znajduje to potwierdzenie doświadczalne, że ładunek jonów gazowych jest ten sam, co i ładunek jonów w elektrolitach.

Promieniotwórczość.

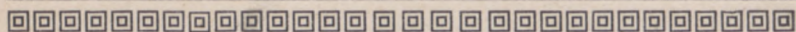
Nauka o promieniotwórczości stanowi dziś obszerną, odrębną dziedzinę badania. Rozwój jej był w ostatnich latach tak wielostronny i szybki, iż w książce niniejszej mogliśmy uwzględnić jedynie kilka najbardziej zasadniczych momentów z dziejów rozwoju tej gałęzi wiedzy. Na pierwszym miejscu podajemy wyjątki z rozprawy Pani Skłodowskiej-Curie. Rozprawa ta, wydana w roku 1904, zawiera zarazem, oprócz wielkich odkryć samej Autorki i Piotra Curie, zestawienie wyników badań innych uczonych aż do roku wydania. Staraliśmy się wyjąć z rozprawy te ustępy, które najbardziej charakteryzują indywidualną pracę Pani Skłodowskiej-Curie. Mistrzowski w swej prostocie i jasności wykład jest dziś równie aktualny, jak i przed laty.

Postać uczonej Polki jest dostatecznie popularna w społeczeństwie. Jaką wartość uczuciową mają dla czytelnika polskiego te wielkie odkrycia, o tem dosyć pisano. Jednak szeroki ogół nie zdaje sobie dotychczas sprawy z tego, iż odkrycia te nie były rzeczą czystego przypadku, lecz przenikliwej myśli badawczej, że do ich dokonania w trudnych warunkach materialnych potrzeba było wielkiego hartu ducha, wiedzy gruntownej i talentu eksperymentatorskiego, że odkrycie radu było możliwe tylko dzięki szczęśliwej hipotezie Pani Curie i dzięki posiadanej przez nią gruntownej znajomości metod analizy chemicznej. Człowiek, cokolwiek obznajmiony z techniką analityczno-chemiczną, wie dobrze, co znaczy oddzielać pierwiastki w pięciu kilogramach minerału, zawierającego prawie wszelkie metale znane.

Żywimy nadzieję, że po przeczytaniu oryginałów czytelnik zrozumie, jak prawdziwej i wielkiej zasłudze hołd ogólny jest oddawany.

Późniejszy rozwój badań nad promieniotwórczością jest ściśle związany z imieniem Rutherford'a. On wraz z Soddy'm rozwinął teorię przemian materii w zjawiskach promieniotwórczości. Jak J. J. Thomson w dziedzinie przewodnictwa elektryczności w gazach, tak Rutherford w nauce o promieniotwórczości stanął na czele całej szkoły uczonych angielskich, którym nauka ta zawdzięcza znaczną część swego dorobku. Teoria Rutherford'a i Soddy'ego jest dziś nicią przewodnią w labiryncie faktów doświadczalnych, którymi on i jego szkoła umieli naukę zubożać

Czytelnika, któryby pragnął zapoznać się z kwestyą dokładniej, odsyłamy do tomu 3-go podręcznika prof. Witkowskiego, do dziełka prof. L. Bruner'a p. n. „Ewolucja materii“, wreszcie do wielkiego dwutomowego dzieła Pani Curie: „Traité de radio-activité“, Paryż, Gauthier Villars, 1910 (jest i przekład niemiecki), i do niemniej doskonałej książki E. Rutherford'a „Radioactive substances nad their radiations“, Cambridge 1913.



MARYA SKŁODOWSKA-CURIE. *)

Pani Marya Skłodowska-Curie, najmłodsza córka Władysława Skłodowskiego, nauczyciela szkół Warszawskich, urodziła się w roku 1867. Dzieciństwo spędziła w domu rodzicielskim. Wykształcenie średnie odebrała w gimnazyum w Warszawie; nauki ukończyła z medalem złotym. Następnie przez lat kilka była nauczycielką prywatną po części na wsi w Płockiem, po części w Warszawie, gdzie przed wyjazdem do Paryża pracowała w pracowni Fizycznej Muzeum Przemysłu i Rolnictwa.

W dziedzinie fizyki pierwszym kierownikiem przyszłej uczo-nej był jej ojciec. W ćwiczeniach analityczno-chemicznych, któremi p. Skłodowska-Curie zajmowała się w pracowni chemicznej Muzeum Przemysłu i Rolnictwa, udzielali jej rad i wskazówek: Napoleon Milicer i Dr. Ludwik Kossakowski.

Wyjeżdżając za granicę, posiadała Pani Skłodowska-Curie dokładną znajomość matematyki (włączając tu rachunek różniczkowy i całkowy), miała też duży stopień przygotowania praktycznego w dziedzinie fizyki i chemii.

Z tymi zasobami wiedzy udała się do Paryża, gdzie w roku 1893 uzyskała licencjat nauk fizycznych, w roku 1894 — licencjat nauk matematycznych i w roku 1896 — prawo nauczania w szkołach średnich.

Od r. 1898 rozpoczyna się okres pracy naukowej Pani Skłodowskiej-Curie. Jedną z pierwszych prac nosiła tytuł: „Sur

*) Wiadomości poniższe zaczerpnęliśmy z artykułu kompetentnego pióra p. J. J. B. w Tygodniku Ilustrowanym, r. 1913, № 48, str. 947.

les propriétés des aciers trempés“ (O własnościach stali hartowanej). W badaniach tych chodziło o wyjaśnienie związku pomiędzy własnościami magnetycznymi a składem chemicznym i temperaturą hartowania różnych rodzajów stali. Badania te dotyczyły nie tylko zwykłych gatunków stali, lecz i stali, zawierającej domieszki baru, miedzi, manganu, niklu, tungstenu, molybdenu. Ta nadzwyczajnie systematyczna, staranna i mozolna praca została nagrodzona przez Towarzystwo Przemysłowe w Lille medalem złotym Kuhlmann'a.

Reszta działalności naukowej p. Curie została poświęcona badaniu ciał promieniotwórczych. Historię odkrycia promieniotwórczości znajdują czytelnicy poniżej w rozprawie oryginalnej Pani Curie i w biografii Piotra Curie Jej pióra. Dla łatwiejszej orientacji wskażemy tylko na kilka najważniejszych punktów w działalności naukowej Państwa Curie i samej Pani Curie, po śmierci męża: 1. Odkrycie, iż promieniotwórczość jest własnością atomową pierwiastków. 2. Stworzenie metody badania ciał promieniotwórczych. 3. Odkrycie radu i polonu. 4. Odkrycie osadu promieniotwórczego (promieniotwórczości wzbudzonej). 5. Otrzymanie radu metalicznego (wspólnie z p. Debierne).

Od roku 1906 objęła Pani Skłodowska-Curie pracownię fizyki ogólnej w Sorbonnie. Tu rozwinęła niezwykle owocną działalność naukową; dość powiedzieć, że w okresie czasu 1906—1911 pracownia ta ogłosiła drukiem 68 prac naukowych. Pomimo tego ogromu pracy znalazła P. Curie czas na ułożenie niezmiernie wyczerpującego podręcznika o zjawiskach promieniotwórczych, o czym mówiliśmy wyżej (str. 462).

W roku 1913 powstała przy Towarzystwie Naukowym Warszawskim Pracownia Radiologiczna, którą zarządzać będzie Pani Curie, przyjeżdżając co czas pewien do Warszawy. Pracownia ta będzie niewątpliwie ważną placówką naukową w kraju.

MARYA ZE SKŁODOWSKICH CURIE.

Przedmowa do dzieł Piotra Curie. *)

Piotr Curie, syn doktora Curie, urodził się w Paryżu 15-go maja 1859 r.; wychowywał się wraz z bratem swoim Jakóbem (Jacques), który przez długi okres czasu był jego towarzyszem pracy, a zawsze pozostał najlepszym brata swego przyjacielem.

Piotr nie uczęszczał do liceum, pobierał natomiast lekcje prywatne, a po zdaniu „bakalaureatu“, **) studyował na uniwersytecie paryskim, gdzie z łatwością w 18-ym roku życia uzyskał licencyat. ***)

Poziom tego egzaminu był zresztą naówczas względnie dość niski, i tylko osobistemu wysiłkowi Piotr zawdzięczał swą ogromną erudycję, oraz zdolności eksperymentatorskie, jakie wykazał w następstwie. Już w pierwszej swej młodości okazał zainteresowanie do nauk doświadczalnych, głównie pod wpływem ojca swego, który miał ogromne zamiłowanie do nauk przyrodniczych, i często przedsiębrał doświadcze-

*) Przedruk z tłumaczenia J. F a t e r s o n a we „Wszecchwiecie“ (Rok 1908, str. 545).

**) Baccalauréat odpowiada naszej maturze (świadectwu dojrzałości), *przyj. tł.*

***) Po francusku licence. Licencjé to samo we Francyi znaczy, co w Rosyi student rzeczywisty. *Przyj. tł.*

nia w tej dziedzinie. W 15-tym roku życia Piotr był już dostatecznie obyty z życiem laboratoryjnym, gdyż, przychodząc często do Szkoły Farmacyi, gdzie brat jego był preparatorem, pomagał mu w przygotowaniach do wykładów fizyki i chemii. Praca laboratoryjna nie była mu więc obcą, gdy po uzyskaniu licencyatu został mianowany preparatorem Desainsa, profesora Sorbony. W tym samym czasie rozpoczęła się jego działalność naukowa.

W pięć lat później wstąpił jako kierownik laboratorium fizycznego do świeżo naówczas założonej Szkoły Fizyki i Chemii przemysłowej, a na stanowisku tem wytrwał przez lat dwanaście. Dopiero w roku 1895, gdy badania jego od dawna były już znane i cenione, został profesorem w tej szkole, gdzie założono dla niego nową katedrę. W tym również czasie ożenił się po uzyskaniu stopnia doktora; otrzymał pozwolenie pracowania z nim razem w szkole. Od roku 1900-go był docentem *) na uniwersytecie paryskim (nauczanie P. C. N. **), a w cztery lata później, po uzyskaniu nagrody Nobla za wykrycie radu, założono dla niego specjalną katedrę. Jednocześnie Curie pożegnał z żalem szkołę fizyki, w której mu upłynęło przeszło dwadzieścia lat pracy nieprzerwanej. W r. 1905-ym został mianowany członkiem Instytutu. 19-go kwietnia 1906 r., gdy liczył zaledwie lat 47, tragiczny wypadek położył kres życiu jego. ***)

* * *

Środki do pracy, jakimi Curie rozporządzał, były zawsze bardzo ograniczone, i w istocie rzecz można, że nigdy

*) Właściwie chargé de cours. Stanowisko o wiele poważniejsze od docentury (ktorej Francya nie zna) oraz połączone ze znacznie wyższym cenzusem naukowym. *Przyp. tł.*

**) P. C. N. skrócone physique, chimie, sciences naturelles (zoologia i botanika). Nauczanie to, obowiązkowe dla studentów medycyny, trwa tylko rok jeden. Aczkolwiek stanowi zamkniętą w sobie całość, ma na celu gruntowne przygotowanie do studyów medycznych. *Przyp. tł.*

***) Piękny obraz życia Piotra Curie'go skreślił Langevin w „La Revue du Mois“, t. II, str. 5.

nie miał on przyzwoitego laboratorium do zupełnego swojego użytku. Na stanowisku dyrektora pracowni fizycznej w Szkole Fizyki mógł posiłkować się, o ile to było możliwe, pracownią szkolną. Nieraz wyrażał swoją wdzięczność za wolność, jaką pozostawiono mu pod tym względem, lecz w laboratorium tem nie posiadał wcale sali do wyłącznego swojego użytku; miejsce, które najczęściej służyło mu za schronienie, było to wązkie przejście między schodami a salą robót praktycznych,—tam to właśnie wykończył dużą swoją pracę o magnetyzmie. Później dopiero uzyskał pozwolenie obrócenia na swój użytek oszklonej pracowni na parterze Szkoły położonej, która do owego czasu służyła za magazyn oraz salę maszyn; w pracowni tej rozpoczęliśmy wspólne nasze poszukiwania nad promieniotwórczością. Nie można było naturalnie nawet myśleć o wykonaniu zamierzonych doświadczeń chemicznych bez uszkodzenia aparatów; doświadczenia te urządziliśmy w opuszczonym budynku nawprost pracowni położonym, w którym niegdyś znalazły schronienie instalacje tymczasowe Szkoły medycznej.

W szopie tej, w której latem niemiłosiernie piekło słońce, a zimą słabo ogrzewał piecyk żelazny,—bez podłogi, o oszklonym dachu, niedostatecznie chroniącym nas przed niepogodą,—spędziliśmy najszcześniejsze lata naszego istnienia, poświęcając się całkowicie pracy bez wytchnienia. Nie bacząc na to, że byliśmy pozbawieni tych wszystkich udogodnień, które w wysokim stopniu ułatwiają pracę chemika, wykonaliśmy tam mnóstwo doświadczeń nad wciąż wzrastającymi ilościami materii. O ile doświadczeń tych nie można było wykonać na zewnątrz, musieliśmy wchłaniać szkodliwe pary, które powoli uchodziły przez otwarte okna. Cały inwentarz składał się ze starych zużytych stołów jodłowych, na których rozkładałam cenne odłamki koncentracji radu. Nie posiadając żadnego sprzętu, w którym moglibyśmy umieścić otrzymane preparaty promieniotwórcze, rozkładaliśmy je na stołach i półkach. Przypominam sobie dokładnie zachwyty, jakiego nieraz doznawaliśmy, gdy wypadło nam czasem wejść w nocy do naszej pracowni, na widok słabo lśniących

sylwetek owoców naszej pracy, jakie ze wszech stron ku nam spoglądały.

Po zamianowaniu profesorem na Uniwersytecie paryskim Curie uzyskał nie bez trudności małe laboratorium tymczasowe, składające się z kilku pokoi — na wydziale P. C. N. Nie mógł zresztą od razu z niego korzystać, gdyż sumienne opracowanie wykładów pochłaniało mu dużo czasu; zaczął pracować w nowej swej pracowni regularnie dopiero po zakończeniu swego kursu pierwszego półrocza, 1905 — 1906, — to znaczy w ciągu ostatniego miesiąca życia.

Środki materyalne, jakimi Curie rozporządzał dla prac swoich, były w ciągu prawie całej jego kariery naukowej również bardzo ograniczone. Dopiero po zamianowaniu go profesorem Sorbony, uzyskał kredyt dostateczny na założenie laboratorium. Kosztowne nasze poszukiwania, które miały na celu wykrycie radu, były prowadzone dzięki darom prywatnym oraz subwencji Instytutu.

A jednak człowiek ten, całkowicie pozbawiony wymagań osobistych, tak obojętny na warunki materyalne istnienia, pragnął posiadać laboratorium dobrze urządzone, spokojne schronienie, wygodnie przystosowane do swojego pracowitego trybu życia. Było to jednym z jego marzeń, które nigdy nie miały się urzeczywistnić, troską żywota, do której ciągle powracał. Wiadomo, że nie chciał przyjąć zaofiarowanej mu Legii honorowej; w czasie, gdy uczyniono mu tę propozycję, uważał za potrzebne zwrócić uwagę na przedmiot swoich pragnień, — pisał mianowicie w liście, w którym uchyla się od zaofiarowanego mu odznaczenia: „Nie pragnę wcale być dekorowanym, odczuwam natomiast wielką potrzebę laboratorium“. Niestety, łatwiej było ofiarować mu to, dla czego był zupełnie obojętnym, aniżeli to, co mogłoby go uczynić szczęśliwym.

Curie należał do ludzi, którzy z dzieła swego uczynili główny cel swojej działalności oraz wszechogarniającą troskę żywota. Rozmiłowany w poszukiwaniach naukowych już wówczas, gdy był jeszcze dzieckiem prawie, poświęcił im trwały wysiłek oraz nieustanną pracę swego żywota,

wyrzekając się wszelkiej rozrywki, wszelkich stosunków światowych, niezbędnych nawet wywcześnie wakacyjnych. Tak więc życie jego było zawsze w zgodzie z jego ideałem młodości, i zgodnie z myślą młodzieńca 20-letniego, na papier w owej epoce rzuconą, udało mu się „uczynić z życia marzenie, a marzenie obrócić w rzeczywistość“.

Poważny i milczący, obracał się chętnie w świecie swoich myśli i nie znosił zgiełku zewnętrznego. Poza pracą swoją lubił przede wszystkim wycieczki wiejskie; niezmiernie wrażliwy na piękno przyrody, znał doskonale wszystkie jej objawienia. Z usposobienia wysoce uczciwy, dbał o to, by zachować lojalność względem siebie i innych, a we wszelkich okolicznościach życia starał się zachować zgodność między czynem a słowem. Był z natury bardzo dyskretny, i lubił to w innych, — jego życie wewnętrzne było dostępne tylko dla tych, których kochał; lecz dobroć jego i słodczy charakteru zapewniały mu sympatyę każdego, kto miał sposobność zbliżyć się do niego.

Twórczość naukowa stała się dla Curie'go potrzebą a pojęcie, jakie sobie o twórczości tej wyrobił, było szczególnie czyste i wzniosłe. Napróżnobyś tam szukał jakiejś obcej przymieszki, jakichś względów na karierę, na powodzenie, na zaszczyty nawet i sławę. Górowała w nim potrzeba rozmyślenia nad zagadnieniami, jakie się nasuwały jego umysłowi; nieustannie szukał ich rozwiązania, nie szczczędając czasu, ni pracy, wydobywał je z otchłani niewiadomości i coraz bardziej udoskonalał, — aż wreszcie docierał do jakiegoś całokształtu wyników pewnych, stanowiących istotny krok naprzód w poznaniu obchodzącego go problemu. Jakkolwiek umysł jego był ustawicznie pochłonięty ideami naukowymi, mającemi doniosłość ogólną, umiał wnosić w wykonanie każdej pracy ogromną sumiennność i skrupulatność: nie było szczegółu praktycznego, któregooby nie uważał za godny wysiłku, a przecież nigdy nie miał na widoku olśnienia rezultatem zdobytym, nigdy nie myślał o wrazeniu, jakie wyrze jego praca.

Nie troszcząc się bynajmniej o wyciągnięcie korzyści

materyalnych ze swych badań lub o zadowolenie miłości własnej, uważał każdą rozprawę ogłoszoną za logiczne uświęcenie otrzymanego wyniku, za spis — że tak powiem — całości faktów lub myśli jasno pojętych i związanych ze sobą węzłem logicznym. Nigdy nie dał się porwać chęci ogłoszenia spostrzeżeń pośpiesznych, na dobie będących, gdyż mówił i myślał szczerze, że jakość pracy znaczy więcej, niż imię autora. Gdy rozmawiano z nim o kwestyach tego rodzaju, odpowiadał spokojnie: „cóż to szkodzi, że nie ogłosiłem tej lub innej pracy, skoro już inny tego dokonał“ Wielu doświadczeń, o których Curie nie wyrobił sobie zdania zadawającego, nie opisał zupełnie, i zdarzało mu się często, że przez długi czas pracował nad jakąś kwestią, w której już doszedł był do pewnych wyników, a nic nie ogłosił w tej mierze.

To też w rozległej sferze zagadnień, jakie go interesowały, lubił wybierać te przedewszystkiem, które jeszcze nie ściągnęły na siebie uwagi licznych badaczy, a którymi mógł się zajmować w spokoju i bez pośpiechu. Po odkryciu radu, gdy do badania promieniotwórczości przystąpiło wielu uczonych, Curie z trudnością dostrajał się do produkcji gorączkowej i szybkości, z jaką następowały po sobie komunikaty w tej dziedzinie. I często doznawał pokusy zaniechania na pewien czas przedmiotu, w którym jednak tyle dokonał, by cofnąć się do innych dziedzin wiedzy, spokojniejszych i bardziej odpowiednich dla refleksyjnego jego umysłu. Pragnął przedewszystkiem powrócić do swych badań nad symetrią środków krystalicznych.

.....

Curie miał zaledwie lat 21, gdy ukazały się pierwsze jego rozprawy; początek jego karyery naukowej był zaznaczony pięknem odkryciem. Po ukończeniu wespół z Desainsem pracy o cieple promienistym, w której po raz pierwszy znalazła zastosowanie metoda pomiarów długości fal cieplnych zapomocą siatki i stosu termoelektrycznego, przedsięwziął wraz z bratem swoim Jakóbem, badania nad

ciałami krystalicznymi. Poszukiwania te doprowadziły szybko do odkrycia nowego zjawiska: piezoelektryczności. Polega ono na wydzielaniu biegunowem elektryczności, które odbywa się w kryształach, pozbawionych, na skutek odkształcenia mechanicznego, środka symetrii. Młodzi fizycy zbadali dokładnie zjawisko na piezoelektryczności oparte, wykryli warunki symetrii niezbędne do wywołania tego zjawiska, określili prawa wydzielania się oraz zmierzili wartości absolutne stałych charakterystycznych dla pewnych kryształów. Zbadali również zjawisko pokrewne odkształcenia elektrycznego w kryształach.

Z punktu widzenia doświadczalnego, była to praca elektrostacyjna niezmiernie subtelna, i aby sumiennie doprowadzić ją do końca, musieli oni wprowadzić pewne udoskonalenia do techniki elektrometrycznej. Do tej właśnie epoki odnieść należy ustalenie modelu elektrometru, który później stał się przedmiotem ciągłego użytku, pod nazwą elektrometru Curie'go. Odkrycie piezoelektryczności ze swej strony doprowadziło do budowy różnych aparatów, z których na szczególną zasługuje uwagę kwarc piezoelektryczny, pozwalający wytworzyć wiadomą co do wartości absolutnej ilość elektryczności w sposób pewny i prosty, i z tego powodu służyć może za wzorzec absolutnych pomiarów ładunków elektrycznych oraz słabych prądów. Przyrząd ten łącznie z elektrometrem Curie'go oddał ogromne usługi w badaniach nad promieniotwórczością i dziś jeszcze jest przedmiotem ciągłego użytku w tej dziedzinie.

Prace teoretyczne Curie'go mają głównie na celu prawa symetrii oraz ich zastosowania do krystalografii i fizyki. Żywo zainteresowany klasyfikacją grup symetrii, zbadał on ją w sposób zupełny a jasny, wprowadziwszy nowe pojęcie płaszczyzn symetrii obrotowej i postępowej. Olbrzymia doniosłość pracy jego w tej dziedzinie polega na tem, że wykazał konieczność uogólnienia praw symetrii przez zastosowanie ich do stanów przestrzeni wytworzonych przez czynniki fizyczne. To doprowadziło go do wystowienia wyżej przytoczonego prawa ogólnego, którego specjalnym

wypadkiem są prawa przed nim sformułowane. W samej rzeczy, dla przewidywania zjawisk w kryształach zachodzących, prawa te uwzględniały tylko symetrię materii krystalicznej. Curie wykazał, że trzeba nadto wziąć pod rachubę symetrię czynników fizycznych, którym materia ta jest poddana. W szczególności zbadał, jaką symetrię charakterystyczną przypisać należy danemu stanowi pola elektrycznego lub magnetycznego.

Curie ciągle posługiwał się temi rozważaniami w swych badaniach doświadczalnych, lecz ogłosił je dopiero po długich, gruntownych rozmyślaniach. Jeszcze zanim to nastąpiło, rozważania tej natury doprowadziły go do odkrycia piezoelektryczności; młodzi fizycy wzięli się do badania tego zjawiska, dopiero gdy przewidzieli możliwość jego istnienia w kryształach natury określonej.

Jak to wyżej zaznaczyłam, Curie w ostatnich latach życia swego przedsięwziął pracę, dotyczącą wielkości kierunkowych oraz sposobu, w jaki przejawiają się one w zjawiskach fizycznych: powrócił on w ten sposób stanowczo do przedmiotu, który nigdy nie przestał go interesować.

W tym samym duchu poczęta jest praca teoretyczna, mająca na celu przedstawienie zjawisk sprężystości w kryształach zachodzących za pomocą własności siatek krystalicznych: przypuścił on mianowicie, że w węzłach tych siatek są umieszczone cząsteczki, między którymi działają siły oraz pary sił na podobieństwo magnesów elementarnych. Doszedł w tym kierunku do wyników obowiązujących niekóre systemy najbardziej prawidłowe.

Nie uważając a priori za niemożliwe istnienia przewodników magnetyzmu oraz magnetyzmu wolnego, Curie wykonał pewną ilość doświadczeń w celu zbadania tego zjawiska. Przekonawszy się, że kula naładowana magnetyzmem wolnym posiada te same elementy co kula, którą wypełnia ciecz obdarzona ruchem obrotowym, przeprowadził próby w tym kierunku oraz próby pokrewne. Ponieważ wyniki były ujemne, badania te nie były nigdy ogłoszone.

Koło roku 1896 Curie rozpoczął pracę o wzroście kryształów. Miała ona na celu pomiary rozpuszczalności oraz prędkości przyrostu rozmaitych ścian kryształu. Prędkość przyrostu oceniał przez powiększenie się ciężaru kryształu zawieszonoego pod talerzykiem wagi; kryształ jedną swą ścianą przylegał do roztworu przesyconego, podczas gdy inne ściany były pokryte lakierem. Okazało się, że prędkość przyrostu była różna dla ścian różnych, a rozpuszczalność zawsze jednakowa. Właśnie wówczas, gdy Curie był zajęty urządzeniem instalacji o temperaturze stałej dla przeprowadzenia tych delikatnych doświadczeń, był on zmuszony przerwać tę pracę, by przedsięwziąć wraz ze mną badania nad nowymi pierwiastkami promieniotwórczymi. Praca w ten sposób przerwana nie była nigdy ogłoszona. Curie miał nadzieję rozpocząć ją na nowo i uzupełnić. Usiłował również zdać sobie sprawę, na jakiej odległości działają siły cząsteczkowe, wzrost kryształu wywołujące, i w tym celu myślał pokryć cienką warstwą złota ścianę przylegającą do roztworu.

Curie nosił się też z zamiarem zgłębienia symetrii kryształów przez zbadanie zjawisk pochłaniania światła oraz ich zależności od temperatury.

Od roku 1892 do 1895 Curie wykonał cały szereg doświadczeń nad własnościami magnetycznymi ciał w rozmaitych temperaturach, począwszy od temperatury otoczenia aż do 1400°. Praca ta posłużyła mu za tezę do doktoratu. Badania, o których mowa, rozciągały się na 20 ciał różnych; były one przeprowadzone w celu wyjaśnienia związków oraz przejść, jakie zachodzą między ciałami diamagnetycznymi, słabo magnetycznymi oraz żelazo-magnetycznymi. Praca ta była połączona z ogromnymi trudnościami doświadczalnymi. Aby znaleźć współczynnik namagnesowania, trzeba było mierzyć siły wielkości setnej części miligrama, w otoczeniu, w którym temperatura mogła dochodzić do 1400°. Z punktu widzenia teorii magnetyzmu oraz diamagnetyzmu, wyniki otrzymane mają doniosłość zasadniczą. Znalezione prawa zmienności wykazują ściśle związek między żelazo-magnetyzmem a magnetyzmem sła-

bym, podczas gdy diamagnetyzm okazuje się widocznie niezależnym. Okazało się, że współczynnik namagnesowania ciał słabo magnetycznych ulega prostemu prawu zmienności w stosunku odwrotnym do temperatury absolutnej (prawo Curie'go). Prawo to jest zarazem prawem granicznym dla współczynnika namagnesowania ciał żelazomagnetycznych, gdy te ostatnie stają się słabo magnetycznymi w wysokich temperaturach. Kierowany intuicją, która — jak to widać z badań Langevina i Weissa — okazała się trafną, Curie utożsamił prawa zmienności natężenia namagnesowania w funkcji pola magnetycznego, z prawami podług których zmienia się gęstość cieczy w funkcji ciśnienia i temperatury. Dokonane przez niego gruntowne a dokładne zbadanie żelaza pozwoliło mu wykryć dla tej substancji dwa nowe punkty przemiany magnetycznej, poza punktem znanym już poprzednio.

W związku z tą pracą pozostają kilkakrotnie przedsiębrane badania w celu wykazania istnienia ciał silnie diamagnetycznych, które jednak nie odniosły pożądanego wyniku.

Curie zajmował się też naturą przewodnictwa elektrycznego, oraz jego łącznością z własnościami dielektrycznymi, przedewszystkiem w ciałach o wysokiej właściwej władzy indukcyjnej (jak np. woda lub nitrobenzol), uważanych jako pośrednie między ciałami izolującymi a przewodnikami. Ciała będące nawpółprzewodnikami, jak krystaliczne tlenki żelaza, żelaziak czerwony, oligist, magnetyt, zdają się również go zajmować z tego punktu widzenia, i dużo czasu Curie poświęcił na badania doświadczalne w tym kierunku. Nigdy jednak nie ogłosił żadnej w tej materii rozprawy, gdyż rezultaty, jakie otrzymał, nie mogły go zadowolić.

W ostatnich latach życia Curie zajmował się głównie badaniami nad promieniotwórczością. Badania te, przeważnie łącznie ze mną przeprowadzone, były poczęte w dwa lata po dokonaniem przez Becquerel'a odkryciu promieniowania uranowego. Jak wiadomo, mają one znaczenie podstawowe. Doprowadziły do odkrycia nowych pierwiastków chemicz-

nych oraz nowej metody analizy chemicznej, którą porównać można z analizą widmową, a polegającej na promieniotwórczości uważanej jako własność atomistyczna. Metoda ta miała za skutek odkrycie radu, i do dziś dnia jeszcze jest jedyną, jaką mogą posługiwać się uczeni, badający budowę substancji oraz minerałów promieniotwórczych. Odkrycie radu wywołało cały ruch naukowy, a promieniotwórczość stała się dziś ważną gałęzią nauk fizyczno-chemicznych.

W tej dziedzinie imię Piotra Curie'go łączy się jeszcze z różnemi pracami doniosłemi. Muszę wymienić przede wszystkim odkrycie pomieniotwórczości indukowanej oraz znacznego wydzielania się ciepła, jakie zachodzi w preparatach radowych; dwa te zjawiska mają olbrzymią doniosłość, a znaczna ilość wydzielającego się z radu ciepła stanowi jeden z najbardziej poważnych argumentów na korzyść teorii przemiany pierwiastków promieniotwórczych, która obecnie przyjętą jest w tej dziedzinie. Zawdzięczyć mu również należy ważne wyniki, dotyczące składu promieniowania ciał promieniotwórczych, — odkrycie przenoszenia ładunków odjemnych przez pewne promienie radu oraz przez promienie wtórne Röntgen'a, — dokładne zbadanie praw ewolucji promieniotwórczości indukowanej w przypadku radu, oraz stałej czasu emanacji radowej, — odkrycie przewodnictwa wywołanego w cieczach izolujących przez promienie radu, — różne badania nad emancją radową, uważaną za gaz promieniotwórczy, — badania nad promieniotwórczością wód mineralnych, — pierwsze pomiary ciepła przez rad wydzielanego.

Zbytecznem byłoby wyszczególnienie licznych pomysłów, jakie nasuwały mu się na tej nowej drodze, gdyż szybki rozwój kwestyi wprowadzał często zmiany do projektów, które — dla tych lub innych powodów — nie były urzeczywistnione.

Curie poświęcał dużo czasu na pomysły oraz budowę nowych przyrządów. Przejawiała się w tem pewna forma działalności bezpośredniej i praktycznej, której oddawał się z prawdziwym zamiłowaniem. I w tym kierunku składał

często dowody oryginalności swojego umysłu. Nie przestawał nigdy ulepszać przyrządów już wykonanych; obmyślał zresztą daleko więcej aparatów, niż wykonać potrafił. Wiele przyrządów Curie'go stało się przedmiotami codziennego użytku w laboratoriach, mimo to, że autor mało dbał o ich rozpowszechnienie. W szczególności wymienić należy elektrometr oraz kwarc piezoelektryczny, o którym była już mowa wyżej, oraz dokładną wagę aperyodyczną i szybką, oddającą olbrzymie usługi. Waga ta szczególnie jest cenna dla robót wymagających ważenia substancji wodę pochłaniających, np. do oznaczania ciężaru atomowego radu. Użycie jej pozwala w wysokim stopniu zwiększyć dokładność wszystkich pomiarów, w których zachodzi potrzeba ważenia tego rodzaju; wszelką raptowną zmianę ciężaru widzi się i ocenia bezpośrednio.

Curie szczegółowo roztrząsał pod względem teoretycznym i praktycznym zarazem, najlepsze warunki funkcjonowania każdego przez siebie obmyślonemu przyrządu. Tem się objaśnia, że gruntowna rozprawa, jaką ogłosił, o ruchach zanikających, stanowiła część pracy odnoszącej się do budowy jego przyrządów. W laboratorium Curie zawsze był otoczony przyrządami przez siebie obmyślonymi i zbudowanymi, a których funkcjonowanie nie miało dla niego tajemnic.

Ostatnie lata życia swego Curie poświęcił badaniom nad promieniotwórczością oraz pracom teoretycznym z fizyki ogólnej — niezmiernej doniosłości. Były one obfite w wyniki. Jego władze umysłowe również jak zdolności eksperymentatorskie były w pełni rozwoju. Wierzył, że — jeszcze lat kilka — a uda mu się wreszcie stworzyć laboratorium, którego tak pragnął, a w którym będzie mógł zgrupować dokoła siebie współpracowników zdolnych, przejętych takim jak on zapalem do pracy. Zaiste, umiał wywierać wpływ głęboki, nie tylko dzięki potędze swojego umysłu, lecz także przez swą wysoką moralność; cała jego istota tchnęła jakimś czarem niewysłowionym, któremu trudno było się oprzeć. Otwierała się przed nim nowa era życia; wobec potężniejszych środków działalności, miała ona być naturalnym prze-

dłużeniem godnej podziwu kariery naukowej. Los zrządził inaczej, i dusza się wzdryga na samą myśl konieczności uchylenia czoła przed jego niepojętym wyrokiem.

Badanie ciał radioaktywnych, przez Maryę Skłodowską-Curie. *)

W S T Ę P.

Celem niniejszej rozprawy jest opisanie poszukiwań, które prowadzę od lat przeszło pięciu nad substancjami promieniotwórczemi. Badania te rozpoczęłam od studyów nad promieniowaniem uranowem, odkrytem przez p. Becquerel'a. Okazało się, że wyniki, do jakich mnie ta praca doprowadziła, odślaniają widoki tak ciekawe, że pan Curie, odstępując od swych robót, będących w biegu, przyłączył się do mnie, i odtąd wspólne nasze usiłowania skierowaliśmy ku wydobyciu nowych ciał promieniotwórczych i ich zbadaniu.

Od początku naszych doświadczeń uważaliśmy za rzecz właściwą udzielać próbek ciał przez nas odkrytych i otrzymanych kilku fizykom, a przedewszystkiem p. Becquerel'owi, któremu zawdzięczamy odkrycie promieni uranowych. W taki sposób ułatwiliśmy innym badania nad nowemi ciałami promieniotwórczemi. W następstwie pierwszych naszych publikacji p. Giesel w Niemczech zaczął również przygotowywać te ciała i udzielił ich próbek kilku uczonym niemieckim. Następnie przetwory te ukazały się w sprzedaży we Francyi i w Niemczech, i sprawa, przybierając coraz to

*) Przedruk z oryginału, stanowiącego odbitkę z „Chemika Polskiego“, wydaną w Warszawie w r. 1904.

większe znaczenie, stała się punktem wyjścia ruchu naukowego, tak że zwłaszcza poza Francją — ukazały się i ukazują nieustannie liczne komunikaty o ciałach radioaktywnych. Wyniki tych różnych badań francuskich i zagranicznych z konieczności są dotąd zagmatwane, jak to bywa zawsze z przedmiotem badań nowym i pozostającym jeszcze w opracowaniu. Stan kwestyi zmienia się, można powiedzieć, z dnia na dzień.

Jednakże z punktu widzenia chemicznego jest jedna rzecz udowodniona w sposób niezbity, to jest istnienie nowego pierwiastka w wysokim stopniu promieniotwórczego — radu. Przygotowanie czystego chlorku radu stanowi część najważniejszą mojej pracy osobistej. Do szeregu dokładnie poznanych pierwiastków chemicznych praca ta dorzuciła nowe ciało proste z własnościami bardzo ciekawymi, a jednocześnie ustaliła i uzasadniła nową metodę poszukiwań chemicznych. Metoda, o której mówię, oparta na promieniotwórczości uważanej za własność atomów materji, pozwoliła właśnie p. Curie'emu i mnie odkryć istnienie radu.

O ile zadanie, pierwotnie przez nas podjęte, możemy uznać za rozwiązane z punktu widzenia chemicznego, badanie własności fizycznych ciał promieniotwórczych znajduje się w pełnym rozwoju. Pewne szczegóły ważne są już ustalone, lecz znaczna liczba wniosków ma jeszcze dotąd cechy tymczasowości. Nic w tem dziwnego, jeżeli zwrócimy uwagę na zawilóść zjawisk, którym promieniotwórczość daje początek, i na różnice we własnościach rozmaitych ciał radioaktywnych. Badania różnych fizyków, którzy studyują te ciała, spotykają się ze sobą i krzyżują nieustannie. Mając ustawicznie na widoku cel właściwy niniejszej rozprawy i opisując przedewszystkiem własne swoje poszukiwania, musiałam jednak współcześnie wzmiankować i o rezultatach prac innych, których znajomość jest niezbędną.

Pragnęłam nadto z rozprawy tej uczynić rzecz ogólniejszą, obejmującą całkowity stan współczesny przedmiotu.

W ciągu rozprawy wyszczególniam kwestye, któremi

sama zajmowałam się specjalnie, oraz te, które badałam wspólnie z p. Curie.

Roboty swoje prowadziłam w pracowniach Szkoły Fizyki i Chemii stosowanej (Ecole de Physique et de Chimie industrielles) miasta Paryża za zezwoleniem Schützenbergera, nieodżałowanego dyrektora tej Szkoły, i p. Lautha, dyrektora obecnego. Miło mi wyrazić na tem miejscu wdzięczność za uprzejmą gościnność, jaka mnie spotkała w tej Szkole.

Część historyczna.

Odkrycie zjawisk radioaktywności jest związane z poszukiwaniami, prowadzonymi od czasu odkrycia promieni Röntgen'a, a dotyczącymi działań fotograficznych ciał fosforyzujących i fluoryzujących.

Pierwsze rurki wytwarzające promienie röntgenowskie nie posiadały antykatory metalicznej. Źródło promieni Röntgen'a znajdowało się w ścianie szklanej, uderzanej przez promienie katodalne. Ścianka ta jednocześnie fluoryzowała bardzo silnie. Można więc było przypuszczać, że emisja promieni röntgenowskich nieodłącznie towarzyszy fluorescencji, powstającej pod jakim bądź wpływem. Myśl tę powziął pierwszy p. Henryk Poincaré. *)

Wkrótce potem p. Henry doniósł, że otrzymał obrazy fotograficzne pod działaniem siarczku cynku fosforyzującego przez papier czarny. **) P. Niewęłowski wywołał to samo zjawisko siarczkiem wapnia, który poprzednio był wystawiony na działania światła. ***) Nakoniec p. Troost otrzymał silne obrazy fotograficzne, działając sztucznie otrzymaną blendą heksagonalną fosforyzującą poprzez papier czarny i grubą tekturę. ****)

*) Revue générale des sciences, 30 stycznia 1896.

**) Comptes rendus, CXXII, 312.

***) Comptes rendus, CXXII, 386.

****) Comptes rendus, CXXII, 564.

Przytoczone powyżej doświadczenia nie mogły być powtórzone, pomimo wielu w tym kierunku usiłowań. Niepodobna więc żadną miarą uznać za rzecz dowiedzioną, że siarczek cynku i siarczek wapnia pod wpływem światła wysyłają promienie niewidzialne, które mogą przechodzić przez papier czarny i działać na płytę fotograficzną.

P. Becquerel wykonywał doświadczenia podobne z solami uranu, z których pewna część okazywała fluorescencyę. *) Otrzymał on obrazy fotograficzne przez papier czarny, używając siarczanu uranylowo-potasowego. P. Becquerel sądził zrazu, że ta sól, która posiada fluorescencyę, zachowuje się tak, jak siarczek cynku i siarczek wapnia w doświadczeniach panów Henry'ego, Niewęglowskiego i Troosta. Ale dalszy bieg doświadczeń przekonał go, że zjawisko uważane nie ma żadnego związku z fluorescencyą. Niema konieczności, żeby sól była naświetlona, a, co więcej, uran i wszystkie jego połączenia działają w jednakowy sposób, a uran metaliczny jest najbardziej czynny. P. Becquerel spostrzegł następnie, że związki uranowe, pomimo przechowywania ich w całkowitej ciemności, zachowują własność działania na płyty fotograficzne przez papier czarny w ciągu lat całych. P. Becquerel przyjął, że uran i jego związki wysyłają szczególniejsze promienie: promienie uranowe. Dowiódł, że promienie te mogą przechodzić przez cienkie zasłony metalowe i że wyładowują ciała naelektryzowane. Poczynił też doświadczenia, z których wywnioskował, że promienie uranowe ulegają załamaniu, odbiciu i polaryzacji.

Badania innych fizyków (Elstera i Geitla, lorda Kelvin'a, Schmidta, Rutherford'a, Beatti'ego i Smoluchowskiego) potwierdziły i rozszerzyły wyniki poszukiwań p. Becquerel'a za wyjątkiem odbicia, załamania i polaryzacji promieni uranowych, które zachowują się w tym względzie jak promienie röntgenowskie, co przedewszystkiem zostało wykazane przez p. Rutherford'a, a następnie i przez samego p. Becquerel'a.

*) Becquerel, Comptes rendus z r. 1896 (kilka komunikatów).

ROZDZIAŁ I.

Promieniotwórczość uranu i toru. Minerale promieniotwórcze.

Promienie Becquerel'a. Promienie uranowe, odkryte przez p. Becquerel'a, działają na płytę fotograficzną bez dostępu światła; mogą przenikać przez wszelkie ciała stałe, ciekłe i gazowe, o ile warstwa jest odpowiednio cienka; przechodząc przez gazy, nadają im własność przewodzenia elektryczności w stopniu słabym. *)

Własności powyższe związków uranowych nie są zależne od żadnego bodźca znanego. Promieniowanie zdaje się być samoistnem; natężenie jego nie zmniejsza się bynajmniej, jeżeli związki uranu są przez całe lata przechowywane w zupełnej ciemności; zjawisko nie jest więc wcale jakąś fosforescencyą szczególną, wzbudzoną przez światło.

Samoistność i trwałość promieniowania uranowego stanowią zjawisko fizyczne nader osobliwe. P. Becquerel przechowywał w ciemności kawałek uranu przez lat kilka i przekonał się, że po upływie tego czasu działanie na płytę fotograficzną nie zmieniło się w sposób, dający się dostrzedz. Pp. Elster i Geitel wykonali doświadczenie podobne i przekonali się również, że działanie jest stałe. **)

Natężenie promieniowania uranu mierzyłam, korzystając z działania tego promieniowania na przewodnictwo elektryczne powietrza. Otrzymałam w taki sposób liczby, które stwierdzają stałość promieniowania w granicach dokładności doświadczeń, to jest aż do 2 lub 3 mniej więcej odsetek. ***)

Do pomiarów tych była używana płytka metaliczna, pokryta warstwą uranu sproszkowanego; płytki tej nie prze-

*) Becquerel, Comptes rendus, 1896 (kilka komunikatów).

**) Becquerel, Comptes rendus, t. CXXVIII; str. 771. — Elster i Geitel, Beibl. t. XXI, str. 455.

***) M. Curie, Rev. gén. des Sc., styczeń 1899.

chowywano w ciemności, gdyż warunek ten, według spostrzegaczy wyżej przytoczonych, niema znaczenia. Liczba pomiarów, wykonanych z tą płytką, jest bardzo wielka, i obecnie odnoszą się one do okresu czasu wynoszącego już pięć lat.

Były czynione poszukiwania, mające na celu dowiedzieć się, czy i inne ciała mogą działać tak, jak związki uranowe. P. Schmidt pierwszy ogłosił, że tę własność posiada również tor i jego związki. *) Przeprowadzone jednocześnie odpowiednie badania i mnie także dały wynik takiż sam. Ogłosiłam to spostrzeżenie, nie znając jeszcze komunikatu p. Schmidta. **)

Mówimy, że uran, tor i ich związki wysyłają promienie Becquerel'a. Ciała które są źródłem emisji tego rodzaju, nazwałam radioaktywnymi ***) (promieniotwórczymi), i nazwa ta odtąd została przyjęta ogólnie.

Promienie Becquerel'a przez swoje działanie fotograficzne i elektryczne zbliżają się do promieni Röntgen'a. Mają też, na równi z tymi ostatnimi, zdolność przenikania wszelkich substancji. Różnią się jednak bardzo pod względem siły przenikania: promienie uranowe i torowe zostają powstrzymane po przebyciu drogi, wynoszącej kilka milimetrów w materii stałej, a w powietrzu przebyć nie mogą odległości większej nad kilka centymetrów; tak jest przynajmniej dla znaczniejszej części promieniowania.

Badania różnych fizyków, a przed innymi p. Rutherford'a, dowiodły, że promienie Becquerel'a nie ulegają ani prawidłom odbicia, ani załamaniu, ani polaryzacji. ****)

Słaba zdolność przenikania promieni uranu i toru zbliżałaby je raczej do promieni wtórnych, które są wytwarzane przez promienie Röntgen'a, a których bada-

*) Schmidt, Wied. Ann. t. LXV, str. 141.

**) M. Curie, Comptes rendus, kwiecień 1898.

***) P. Curie i M. Curie, Comptes rendus, 18 lipca 1898.

****) Rutherford, Phil. Mag., styczeń 1899.

niem zajął się p. Sagnac, *) aniżeli do samych promieni Röntgen'a.

Z drugiej strony możnaby poszukiwać zbliżenia pomiędzy promieniami becquerelowskimi, a promieniami katodowymi rozchodzącymi się w powietrzu (promienie Lenarda). Wiadomo nam dzisiaj, że różne te zbliżenia są wszystkie uprawnione.

Mierzenie natężenia promieniowania. Metoda używana w tym celu polega na mierzeniu przewodnictwa, nabytego przez powietrze pod wpływem ciał promieniotwórczych; metoda, o której mowa, posiada tę zaletę, że jest pośpieszna i dostarcza liczb odpowiednich do porównania między sobą. Przyrząd, używany przeze mnie w tym celu, składa się głównie z kondensatora o dwu talerzach AB (fig. 84). Substancja czynna, drobno sproszkowana, jest umieszczona na talerzu B ; nadaje ona własność przewodzenia warstwie powietrza pomiędzy talerzami. Chcąc zmierzyć przewodnictwo, doprowadzamy talerz B do wysokiego potencjału, łącząc go z jednym z biegunów baterji małych akumulatorów P , której biegun drugi jest połączony z ziemią, zatem pomiędzy tymi talerzami wytwarza się prąd elektryczny. Potencjał talerza A jest wskazany przez elektrometr E . Jeżeli zerwiemy połączenie z ziemią w punkcie C , talerz A ładuje się, a ładunek jego odchyła elektrometr. Szybkość tego odchylenia jest proporcjonalna do siły prądu i może służyć do jej mierzenia. ¹⁾

Lepiej jednak dokonywać tego pomiaru, kompensując ładunek talerza A tak, żeby elektrometr pozostawał na punkcie zero. Ładunki, o które tu idzie, są nadzwyczaj słabe: mogą one być kompensowane zapomocą kwarcu piezoelektrycznego ²⁾ Q , którego jedno uzbrojenie jest złączone z talerzem A , drugie zaś — z ziemią. Błazkę kwarcową poddajemy wyciąganiu, którego wielkość jest znana i oznaczona przez ciężarki, umieszczane na talerzyku π ; obciążania dokonywa się stopniowo, a następstwem tego jest stopniowe

*) Sagnac, Comptes rendus, 1897, 1898, 1899 (kilka komunikatów).

wytworzenie pewnej znanej ilości elektryczności w ciągu czasu, który mierzymy. Czynność tę możemy regulować w taki sposób, *) żeby ilość elektryczności przechodząca przez kondensator i ilość elektryczności ze znakiem przeciwnym, dostarczana

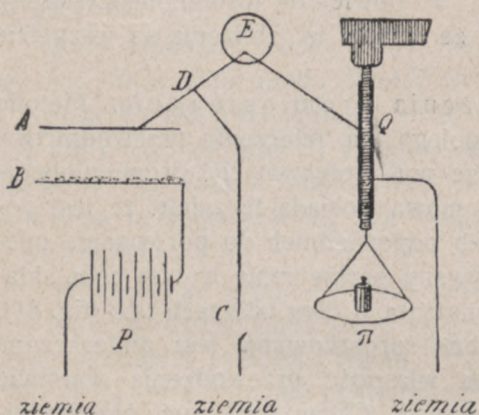


Fig. 84.

przez kwarc, równoważyły się między sobą w każdej chwili. Można także mierzyć w wartościach bezwzględnych ilość elektryczności przechodzącą w pewnym czasie przez kondensator, to jest mierzyć siłę prądu. Pomiaru są tu niezależne od czułości elektrometru.

Wykonywując szereg pomiarów tego rodzaju, przekonaliśmy się, że radioaktywność jest zjawiskiem, które można mierzyć z pewną dokładnością. Mało zmienia się ona z temperaturą, a wahania w stanie ciepła środowiska otaczającego prawie nie wywierają na nią wpływu; stopień oświetlenia substancji czynnej nie ma żadnego znaczenia. Natężenie prądu, przepływającego przez kondensator, wzrasta razem z powierzchnią talerzy. Dla danego przyrządu i danej substancji prąd wzrasta odpowiednio do różnicy potencjału na dwu talerzach, do ciśnienia gazu napełniającego kondensator i do odległości talerzy (pod warunkiem

*) Łatwo osiągnąć ten rezultat, trzymając ciężarek w ręce i pozwalając mu obciążać talerzyk π stopniowo w taki sposób, żeby wskazówka elektrometru pozostawała ciągle na zerze. Nabrawszy nieco wprawy, dochodzi się do bardzo pewnego kierowania ruchem ręki, niezbędnym do pomyślnego wykonania tej czynności. Ta metoda pomiaru prądów słabych została opisana przez J. Curie w jego dysertacji.

żeby ta odległość nie była zbyt wielka w stosunku do średnicy). W każdym razie, wobec dużych różnic potencjału prąd dąży do pewnej wartości granicznej, która, praktycznie biorąc, jest wartością stałą. Nazywamy ją prądem nasyconym, albo prądem granicznym. ³⁾ Tak samo wobec pewnej dostatecznie wielkiej odległości między talerzami kondensatora prąd nie zmienia się wcale z dalszemi zmianami tej odległości. Prąd otrzymany w powyższych warunkach, z dodatkiem, że kondensator pozostaje w powietrzu pod ciśnieniem atmosferycznym, był w doświadczeniach moich używany do mierzenia promieniotwórczości.

Dla przykładu podaję krzywe, wyobrażające natężenie prądu w funkcji pola średniego, wytworzonego pomiędzy talerzami kondensatora, wobec dwu różnych odległości tych talerzy między sobą. *B* był pokryty cienką warstewką sproszkowanego uranu metalicznego; talerz *A*, połączony z elektrometrem, był zaopatrzony w pierścień ochronny.

Fig. 85 wskazuje, że natężenie prądu osiąga wielkość stałą wobec znacznych różnic potencjału na dwu talerzach.

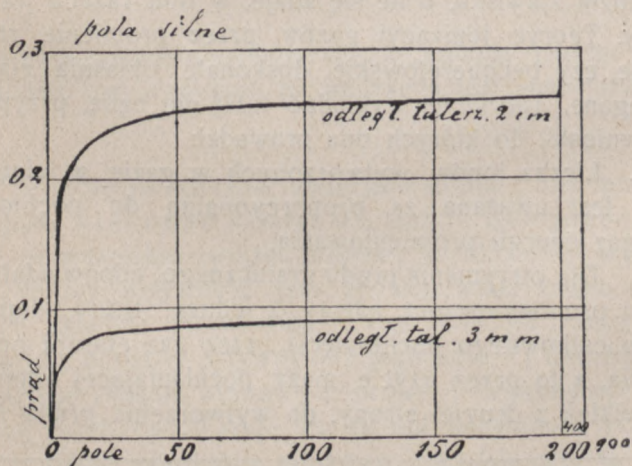


Fig. 85.

Figura 86 przedstawia też same krzywe w innej skali i zawiera wyłącznie rezultaty, odnoszące się do małych różnic

potencjału. Początek krzywej jest linią prostą; iloraz z natężenia prądu przez różnicę potencjału jest wielkością stałą dla napięć słabych i przedstawia przewodnictwo początkowe między talerzami. Możemy tedy odróżnić dwie ważne stałe charakterystyczne zjawiska uważanego: 1. przewodnictwo początkowe w przypadku małych różnic potencjału 2. prąd graniczny w przypadku wielkich różnic potencjału. Prąd graniczny został przyjęty za miarę promieniotwórczości.

.....

Badania nad przewodnictwem powietrza i innych gazów, poddanych wpływowi promieni Becquerel'a, były dokonane przez wielu fizyków. *) Studium bardzo szczegółowe nad tym przedmiotem zostało ogłoszone przez pana Rutherford'a. **)

Prawa przewodnictwa, wywołanego w gazach przez promienie Becquerel'a, są także same, jak prawa znalezione dla odpowiedniego działania promieni Röntgen'a. Mechanizm zjawiska, o ile się zdaje, w obu razach jest jednakowy. Teoria jonizacji gazów przez promienie röntgenowskie, czy becquerelowskie doskonale objaśnia zjawiska dostrzegane. Teorii tej wykladać tutaj nie będę, przypomnę tylko wnioski, do których ona prowadzi:

1. Liczba jonów, wytworzonych w gazie w ciągu sekundy, jest uważana za proporcjonalną do pochłoniętej przez gaz energii promieniowania;

2. Dla otrzymania prądu granicznego, odpowiadającego danemu promieniowaniu, należy, z jednej strony, doprowadzić do całkowitego pochłonięcia przez gaz energii promieniowania, a to przez użycie masy pochłaniającej odpowiednio wielkiej; z drugiej strony, do wytworzenia prądu należy

*) Becquerel, Comptes rendus, t. CXXIV, str. 800, 1897. — Kelvin, Beattie i Smolan, Nature, t. LVI, 1897. — Beattie i Smoluchowski, Phil. Mag. t. XLIII, str. 418.

**) Rutherford, Phil. Mag., styczeń 1899.

zużytkować wszystkie wydzielone jony, wywołując pole elektryczne o tyle silne, ażeby liczba jonów, łączących się na powrót, była nieznaczną częścią liczby całkowitej jonów wydzielonych w tym samym czasie, które prawie wszystkie zostają przez prąd porwane i doprowadzone do elektrod.

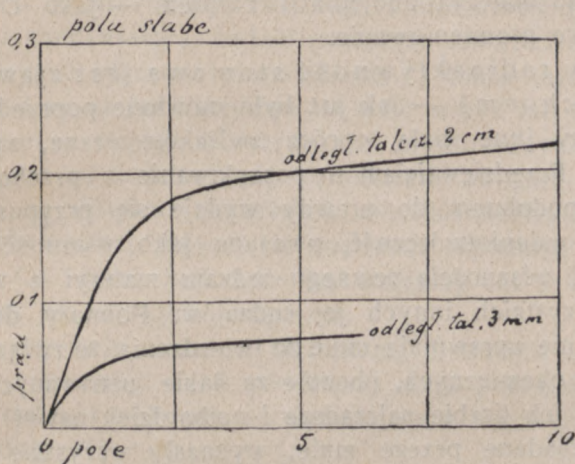


Fig. 86.

Pole elektryczne, niezbędne do otrzymania takiego wyniku, musi być tem silniejsze, im jonizacja jest znaczniejsza.

Promieniotwórczość związków uranu i toru przedstawia się jako własność atomowa. Już p. Becquerel stwierdził, że wszystkie związki uranowe są aktywne i wywnioskował, że ich aktywność jest spowodowana przez obecność w ich składzie pierwiastku uranu; dowiódł także, że sam uran jest bardziej aktywny niż jego sole. *) Badałam w tym względzie związki uranowe i torowe i wykonałam znaczną liczbę pomiarów; okazuje się, że radioaktywność tych ciał jest rzeczywiście własnością atomową. Wydaje się, że tutaj jest ona związana z obecnością atomów dwu pierwiastków roz-

*) Becquerel, Compt. rend., t. CXXII, str. 1086.

ważanych i nie bywa niweczona ani przez zmiany stanu fizycznego, ani przez przemiany chemiczne. Związki chemiczne i mieszaniny, zawierające w sobie uran lub tor, są o tyle bardziej aktywne, o ile stosunek znajdujących się w ich składzie owych metali jest większy. Każda przymieszka nieczynna działa jako materya obojętna i zarazem — jako ciało pochłaniające promieniowanie.

Czy radioaktywność atomowa jest zjawiskiem powszechnem? — Jak już było mówione poprzednio, badałam, czy inne ciała, oprócz związków uranu, są radioaktywne. Przedsięwzięłam to poszukiwanie z przekonaniem, że mało podobnem do prawdy wydaje się przypuszczenie, ażeby promieniotwórczość, uważana jako własność atomu, miała być własnością pewnego rodzaju materyi z wyłączeniem wszystkich innych jej rodzajów. Pomiary dokonane przeze mnie uprawniają mnie do twierdzenia, że związki pierwiastków chemicznych, obecnie za takie uznawanych, rozumiejąc w ich liczbie najrzadsze i najbardziej nawet hypotetyczne, zbadane przeze mnie, wykazały wszystkie w mym przyrządzie aktywność conajmniej sto razy słabszą, niż uran metaliczny. Mając do czynienia z ciałami bardziej rozpowszechnionymi, badałam liczne ich związki; w przypadku ciał rzadkich, musiałam poprzestawać na tych, w jakie udało mi się zaopatrzyć.

Do doświadczeń swoich wciągnęłam pod postacią pierwiastków lub związków ciała następujące:

1. Wszystkie metale i niemetale pospolitsze i niektóre rzadsze, w stanie czystym, wchodzące w skład zbioru pana Etarda w szkole Fizyki i Chemii przemysłowej miasta Paryża;

2. Następujące ciała rzadkie: gal, german, praeodym, niob, skand, gadolin, erb, samar, rubid, (okazy, użyzione przez p. Demarçaya), yttr, yterb, erb „nowy“ (okazy, użyzione przez p. Urbain'a) *)

*) Żywię głęboką wdzięczność dla wyżej wymienionych uczonych, którym zawdzięczam okazy do badań. Dziękuję także p. Moissanowi, który obdarzył mnie uranem metalicznym.

3. Znaczną liczbę skał i minerałów.

W granicach czułości mojego przyrządu nie znalazło się ani jedno ciało proste, któreby posiadało promieniotwórczość atomową, z wyjątkiem uranu i toru. Należy jednak wspomnieć pokrótce o pewnej okoliczności, odnoszącej się do fosforu. Fosfor biały zwilżony, umieszczony pomiędzy talerzami kondensatora, nadaje powietrzu zawartemu między tymi talerzami własność przewodzenia. *) Ciała tego jednak nie uważałam za radioaktywne na wzór uranu lub toru. Fosfor, w rzeczy samej, w warunkach przytoczonych ulatnia się i wytwarza światło, gdy tymczasem związki uranowe i torowe są aktywne, jakkolwiek nie doświadczają żadnej zmiany chemicznej, dającej się dostrzedz zapomocą środków znanych. Co więcej, fosfor nie jest aktywny ani w odmianie czerwonej, ani w swych związkach.

W rozprawie niedawno ogłoszonej p. Bloch wykazuje, że fosfor, utleniając się w powietrzu, daje początek jonom bardzo słabo ruchliwym i wywołującym zgęszczanie się pary wodnej. **)

Uran i tor są to dwa pierwiastki, które posiadają najwyższe ciężary atomowe (240 i 232); często spotykamy je w jednych i tych samych minerałach.

Minerały radioaktywne. — Zbadałam w swoim przyrządzie znaczną liczbę minerałów; ***) niektóre z pomiędzy nich wykazały aktywność, szczególnie blenda smolista, chalkolit, autunit, monacyt, toryt, oranżyt, fergusonit, kleweit i t. d. W tabliczce poniższej *i* przedstawia wyrażone w amperach natężenie prądu, otrzymane z uranem i z różnymi minerałami:

	$i \times 10^{11}$
Uran	2,3
Blenda smolista z Johannegeorgenstadu	8,3
„ „ z Jachimowa (Joachimsthalu).	7,0

*) Elster i Geitel, Wied. Ann., 1890.

**) Bloch, Société de Physique, 6 lutego 1903.

***) Okazy minerałów ze zbioru Muzeum były mi łaskawie użyte przez p. Lacroix.

Blenda smolista z Pribramu	6,5
” ” z Kornwalii	1,6
Kleweit	1,4
Chalkolit	5,2
Autunit.	2,7
	0,1
	0,3
Toryty różne	0,7
	1,3
	1,4
Oranżyt	2,0
Monacyt	0,5
Ksenotym.	0,03
Eschinit	0,7
Fergusonit, 2 okazy	0,4
	0,1
Samarskit.	1,1
Niobit, 2 okazy	0,1
	0,3
Tantalit	0,02
Karnotyt *).	6,2

Prąd, wytwarzający się za użyciem oranżytu (minerał, zawierający tlenek toru), zmieniał się bardzo w zależności od grubości warstwy minerału. Zmieniając tę grubość od 0,25 mm do 6 mm: otrzymano prąd od 1,8 do 2,3.

Wszystkie minerały, które się okazały promieniotwórczymi, zawierają tor lub uran; aktywność ich była oczekiwana, lecz natężenie zjawiska dla niektórych minerałów wydało się nam zdumiewającym. Tak, znaleziono blendy smoliste (minerały zawierające tlenek uranu) cztery razy bardziej aktywne od uranu metalicznego. Chalkolit (fosforan miedziowo-uranowy krystaliczny) jest dwa razy bardziej aktywny od uranu metalicznego. Autunit (fosforan uranowo-

*) Karnotyt jest to naturalny wanadan uranu, odkryty niedawno przez pp. Friedla i Cumengea.

wapniowy) jest równie aktywny jak uran. Fakty te nie zgadzają się z uwagami poprzednimi, według których żaden minerał nie powinien był się okazać bardziej aktywnym od uranu i toru.

Ażeby ten punkt wyjaśnić, przygotowałam chalkolit sztuczny według sposobu Debray'a, wychodząc z materiałów pierwotnych czystych. Metoda polega na zmieszaniu roztworu azotanu uranylowego z roztworem fosforanu miedzi w kwasie fosforowym i ogrzaniu mieszaniny do 50 lub 60°. Po upływie pewnego czasu w cieczy tworzą się kryształy chalkolitu. *) W taki sposób wytworzony chalkolit posiada aktywność zupełnie normalną, jeżeli uwzględnimy skład jego: jest on półtrzecia raza mniej aktywny od uranu.

Od tej chwili stało się rzeczą bardzo prawdopodobną, że tak wysoka aktywność blendy smolistej, chalkolitu, autynitu zależy od zawartości w tych ciałach małej ilości substancji bardzo silnie promieniotwórczej, odmiennej od uranu, toru i wogóle od pierwiastków poprzednio znanych. Wydało mi się, że, o ile tak jest w istocie, mogę mieć nadzieję wydobycia z minerału tego ciała zapomocą postępowania zwyczajnego analizy chemicznej.

ROZDZIAŁ II.

Nowe substancje radioaktywne.

Metoda poszukiwań. Rezultaty studyów nad minerałami radioaktywnymi, przytoczone w rozdziale poprzednim, zniewoliły p. Curie i mnie do podjęcia poszukiwań w celu wydzielenia z blendy smolistej nowej substancji promieniotwórczej. Metodę naszych badań mogliśmy oprzeć

*) Debray, Ann. de Chim. et de Phys., serya 3, tom LXI, str. 445.

tylko na radioaktywności, gdyż nie znaleźliśmy żadnej innej własności szukanego ciała hypotetycznego. Promieniotwórczość może być pomocna w badaniach tego rodzaju w sposób następujący: Mierzy się radioaktywność danego produktu, oddziela od siebie jego części składowe według metod analizy chemicznej, mierzy następnie radioaktywność każdego z otrzymanych składników i wreszcie z wyniku pomiarów wnioskuje, czy szukana substancja promieniotwórcza stanowi część integralną jednego tylko ze składników, czy też rozdziela się pomiędzy nie wszystkie i w jakim stosunku. Osięga się w ten sposób wskazówkę, którą można by do pewnego stopnia porównać z wynikami analizy widmowej. Chcąc na tej drodze otrzymać liczby porównawcze, należy do pomiarów radioaktywności używać substancji w stanie stałym i dobrze wysuszonych.

Polon, rad, aktyn. Analiza blendy smolistej, dokonana na podstawie metody wskazanej powyżej, pozwoliła nam wykazać w tym mineralu obecność dwu substancji silnie radioaktywnych: polonu („polonium“), wykrytego przez nas, i radu („radium“), który odkryliśmy ze współudziałem p. Bémont'a. *)

Pod względem zachowania się wobec metod analizy, polon przedstawia ciało zbliżone do bizmutu, towarzysząc mu w rezultatach oddzielania. Bizmut, coraz to bogatszy w polon, można otrzymać zapomocą jednego z następujących sposobów:

1. Przez sublimację siarczków w próżni; siarczek, zawierający ciało radioaktywne, jest lotniejszy, niż siarczek bizmutu czystego.

2. Przez strącanie wodą roztworów w kwasie azotowym; strącony zasadowy azotan bizmutu jest znacznie aktywniejszy, niż sól pozostała w roztworze.

3. Przez strącanie siarkowodorem z roztworów w kwa-

*) P. Curie i M. Curie, Comptes rendus, lipiec 1898.—P. Curie, M. Curie i G. Bémont, Compt. rend., grudzień 1898.

się solnym, bardzo silnie kwaśnych; strącane siarczki są daleko bardziej aktywne, niż sól pozostała w roztworze.

Rad jest ciałem, które towarzyszy barowi podczas oddzielania tego pierwiastku od reszty składników blendy smolistej; dzieli on z barem jego reakcje chemiczne i daje się od baru oddzielić na podstawie różnej rozpuszczalności chlorków w wodzie czystej, w wodzie z dodatkiem alkoholu lub zakwaszonej kwasem solnym. Oddzielanie chlorków baru i radu uskuteczniamy przez poddanie ich mieszaniny krystalizacji cząstkowej; chlorek radu jest mianowicie mniej rozpuszczalny od chloru barowego.

Trzecie ciało, o silnej radioaktywności, wykazał w blendzie smolistej p. Debierrne, który nadał mu nazwę aktynu („actinium“). *) Aktyn towarzyszy w blendzie smolistej niektórym pierwiastkom z grupy żelaza; jak się zdaje, zbliża się on przedewszystkiem do toru, od którego nie można go było jeszcze dotychczas oddzielić. Ekstrakcja aktynu z blendy smolistej jest operacją bardzo zmuǳną ze względu na trudność zupełnego oddzielenia tego ciała.

Wszystkie trzy nowe substancje promieniotwórcze znajdują się w blendzie smolistej w ilości minimalnej. Aby otrzymać je w stanie stężonym, byliśmy zmuszeni przedsięwziąć przeróbkę wielu ton odpadków minerału uranowego. Przerabianie na wielką skalę trzeba było uskutecznić na sposób fabryczny; jest ono związane z wielkim nakładem pracy, polegającej na oczyszczaniu i stężaniu. Z całych tysięcy kilogramów materiału podstawowego zdołaliśmy wyciągnąć kilka decygramów produktów, które są nadzwyczaj czynne w porównaniu z samym minerałem macierzystym. Oczywiście, że cała ta praca jest długa, mozolna i kosztowna. **)

*) Debierrne, Comptes rendus, 1899 (październik) i 1900 (kwiecień).

**) Jesteśmy wielce obowiązani osobom, które w tej pracy przyszyły nam z pomocą. Serdecznie ǳękujemy pp. Mascart'owi i Michel-Lévy'emu za ich życzliwe poparcie. Wskutek łaskawego wstawiennictwa profesora S u e s s'a, rząd austriacki oddał do naszej dyspozycji tonę odpadków (pochodzących z zakładów państwowych w Jachimowie (Joa-

Wśród wszystkich nowych substancji promieniotwórczych, dotychczas, jeden tylko rad został wydzielony w stanie soli czystej.

Widmo radu. Było rzeczą pierwszorzędną wagi sprawdzić, zapomocą wszelkich środków dostępnych, podane przez nas w pracy niniejszej przypuszczenie co do istnienia nowych pierwiastków promieniotwórczych. Co dotyczy radu, przypuszczenie to zostało jak najzupełniej stwierdzone zapomocą analizy widmowej.

Badaniem nowych substancji radioaktywnych raczył się zająć p. Demarçay, stosując tutaj ścisłą metodę, którą posługiwał się w swych studyach nad fotografowanymi widmami iskry.

Współpracownictwo tak kompetentnego uczonego było dla nas wielkiem dobrodziejstwem, to też żywymy głęboką wdzięczność względem tego badacza za przyjęcie na swe barki tej pracy. Wyniki analizy widmowej upewniły nas właśnie wtedy, gdy mieliśmy jeszcze pewne wątpliwości co do sposobu interpretacji rezultatów naszych poszukiwań. *)

Pierwsze próbki chlorku baru promieniotwórczego

chimsthal) w Czechach). Akademia Umiejętności w Paryżu, Towarzystwo Zachęty Przemysłu narodowego („Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale“) wreszcie jakiś, nieznan nam z nazwiska, ofiarodawca dostarczyli nam środków na przerobienie pewnej ilości produktu. Przyjaciel nasz, p. Debiere, zajął się organizacją przerobu materiału, czego dokonano w fabryce Towarzystwa centralnego Przetworów chemicznych („Société centrale de produits chimiques“). Towarzystwo to bezinteresownie pozwoliło na przerób materiału. Wszystkim składamy nasze serdeczne podziękowania. — Ostatnio l'Institut de France przeznaczył do naszego rozporządzenia sumę 20000 fr. na cele ekstrakcyi substancji radioaktywnych. Korzystając z tej sumy, mogliśmy rozpocząć przerabianie 5 ton minerału.

*) Właśnie niedawno boleśnie dotknęła nas śmierć tego tak wybitnego uczonego. Zabrała go ona w chwili, gdy w dalszym ciągu oddawał się swym pięknym poszukiwaniom nad ziemiemi rzadkimi i nad analizą widmową, posługując się metodami, których doniosłość i precyzja budzą podziw. W pamięci naszej głęboko pozostanie na zawsze życziwa skwapliwość, z jaką badacz ten zgodził się wziąć udział w naszej pracy.

o średniej aktywności, zbadane przez Demarçay'a, okazały w widmie ultrafioletowym, obok linii baru, linię nową o znacznym natężeniu i długości fali $\lambda = 381,47 \mu\mu$. Po zastosowaniu produktów bardziej aktywnych, Demarçay spostrzegł, że linia o fali $\lambda = 381,47 \mu\mu$ stała się silniejszą, równocześnie wystąpiły inne linie nowe, a linie te i linie baru posiadały w widmie natężenia dające się porównywać. Przez dalszą koncentrację otrzymano wreszcie produkt, w którego widmie przeważają linie nowe, podczas gdy z linii baru tylko trzy najsilniejsze są widzialne, świadcząc jedynie o obecności tego metalu jako zanieczyszczenia. Produkt ten można już uważać za prawie czysty chlorek radu. Nakoniec przez dalsze oczyszczanie, zdołałam przygotować chlorek nadzwyczaj czysty, w którego widmie dwie główne linie baru są zaledwo widoczne.

.....

Według Demarçay'a, rad można umieścić pomiędzy ciałami, posiadającymi najbardziej czułą reakcję widmową. Skądinąd, prowadząc operację stężenia chlorku baru radioaktywnego, mogłam sama wywnioskować, że w pierwszej badanej próbie, która wyraźnie wykazywała linię 381,47, zawartość radu musiała być bardzo nieznaczna (zapewne 0,02 na 100). Potrzeba jednak promieniotwórczości 50 razy większej niż uranu metalicznego, aby wyraźnie dostrzedz główny prążek radu w widmach fotograficznych. Zapomocą elektrometru czułego można wykazać radioaktywność jakiegoś produktu, gdy wynosi ona nie więcej jak $1/100$ aktywności uranu metalicznego. Widocznym jest tedy, że, dla stwierdzenia obecności radu, radioaktywność jest czynnikiem wiele tysięcy razy czulszym, niż reakcja widmowa.

Bismut z bardzo silnie promieniotwórczym polonem i tor z bardzo silnie działającym aktywnym, badane przez Demarçay'a, dawały dotychczas tylko linie bizmutu i toru.

W rozprawie niedawno ogłoszonej, Giesel, *) który zajmował się przygotowaniem radu, oznajmia, że bromek

*) Physik. Zeitschrift, 15 września 1902.

radu zabarwia płomień bunsenowski na kolor karminowy. Widmo płomienia radu zawiera dwa piękne pasma czerwone, jedną linię w barwie błękitno-zielonej i dwie słabe linie we fiolecie.

Ekstrakcja nowych substancji radioaktywnych. Pierwsza czynność ekstrakcji polega na wyciąganiu z minerału uranowego baru radonośnego, bizmutu polonośnego i ziem rzadkich, zawierających aktyn. Skoro te trzy pierwsze produkty zostaną otrzymane, należy przystąpić do wydzielenia z każdego z nich nowej substancji promieniotwórczej. Ta druga część poszukiwań dokonywa się zapomocą odpowiedniej metody frakcyonowania. Wiadomo, że wynalezienie stosownego sposobu zupełnego oddzielania pierwiastków bardzo zbliżonych jest rzeczą trudną; w takich razach pozostaje tylko użycie metod opartych na frakcyonowaniu. Zresztą, gdy jaki pierwiastek znajduje się w mieszaninie z drugim w ilościach niewiększych nad ślady, nie sposób poddać mieszaniny jakiejś metodzie oddzielania zupełnie doskonałego, nawet, gdybyśmy taką metodę znali; bowiem możnaby się było narazić na stratę i owego śladu danego składnika, który mógłby zostać stracony w ciągu operacji. Praca, mająca na celu izolowanie radu i polonu, była specjalnie moim udziałem. Po kilkuletnich poszukiwaniach w tym kierunku zdołałam dojść do wyników pozytywnych względem radu. W Europie ekstrakcja jego dokonywa się w kopalniach w Jachimowie (Joachimsthal) w Czechach. Minerale, po rozdrobnieniu, zostaje prażony z węglanem sodu, a produkt tej reakcji ługowany ciepłą wodą, a następnie kwasem siarczanym rozcieńczonym. Roztwór zawiera uran, stanowiący właśnie o wartości blendy smolistej. Pozostałość nierozpuszczalna bywa odrzucana.

Ta to pozostałość zawiera substancje radioaktywne; jej czynność promieniotwórcza jest cztery i pół raza większa od aktywności uranu metalicznego. Rząd austriacki, do którego należą kopalnie blendy, uprzecznie zaofiarował nam na cele naszych poszukiwań jedną tonę tych odpadków i upoważnił kopalnie do dostarczania nam większej ilości tego materiału.

Było to zadanie wcale nie łatwe przerabiać odpadki po raz pierwszy w sposób fabryczny według metod, stosowanych w laboratorium. P. Debierne raczył przestudować tę kwestyę i zorganizować przerób fabryczny. Punkt najważniejszy metody, wskazanej przez niego, polegał na uskutecznieniu przemiany siarczanów w węglany przez gotowanie materiału ze stężonym roztworem węglanu sodu. Sposób ten pozwala uniknąć czynności topienia z węglanem sodowym.

Pozostałość zawiera głównie siarczany ołowiu i wapnia, krzemionkę, glinę i tlenek żelaza. Poza tem, można w nich znaleźć, w ilościach mniejszych lub większych, prawie wszystkie metale (miedź, bizmut, cynk, kobalt mangan, nikiel, wanad, antymon, tal, ziemie rzadkie, niob, tantal, arsen, bar i t. p.). W tej mieszaninie rad znajduje się w postaci siarczanu i stanowi wśród innych siarczanów najmniej rozpuszczalny. Chcąc go przeprowadzić w roztwór, należy wyługować, jak można najzupełniej, kwas siarczany. W tym celu odpadki zostają traktowane stężonym i gorącym roztworem sody zwyczajnej. Kwas siarczany, związany z ołowiem, glinem, wapniem, przechodzi w znacznej części do roztworu w postaci siarczanu sodu, który zostaje usunięty zupełnie przez płókanie wodą. Do roztworu alkalicznego przechodzą równocześnie ołów, krzemionka i glina. Resztę nierozpuszczalną poddaje się, po wymyciu wodą, działaniu zwykłego kwasu solnego, który rozkłada materiał traktowany i rozpuszcza znaczną jego ilość. Z roztworu stąd powstałego można wydzielić polon i aktyn: pierwszy z nich strąca się siarkoworodem, drugi natomiast znajduje się w przesączu po siarczkach i może być stąd razem z wodzianami strącony amoniakiem. Co dotyczy radu, to pozostaje on w osadzie nierozpuszczalnym w kwasie solnym. Osad ten myje się wodą, potem traktuje stężonym i wrzącym roztworem węglanu sodu. Jeżeli w osadzie pozostała niewielka tylko ilość nierozłożonych siarczanów metali obcych, wtedy wynikiem powyższej czynności jest zupełna przemiana siarczanów baru i radu w węglany. Teraz myje się materiał

bardzo dokładnie wodą, poczem poddaje działaniu kwasu solnego, niezawierającego kwasu siarczanego. Roztwór zawiera rad, a nadto polon i aktyn. Roztwór ten zostaje prefiltrowany i strącony kwasem siarczanym. W ten sposób otrzymuje się surowe siarczany baru radonośnego, zawierającego nadto wapń, ołów, żelazo i nieznaczną domieszkę aktynu. Przesącz zaś zawiera jeszcze nieco polonu i aktynu, które dają się zeń wydzielić tak samo, jak z pierwszego roztworu w kwasie solnym.

Z jednej tony odpadków otrzymuje się 10 do 20 *kg.* siarczanów surowych, których radioaktywność jest 30 do 60 razy większa niż uranu metalicznego. Teraz należy przystąpić do ich oczyszczania. W tym celu gotuje się je z węglanem sodu, poczem zamienia na chlorki. Przez roztwór w kwasie solnym przepuszcza się strumień siarkowodoru, który strąca nieco siarczków radioaktywnych, zawierających polon. Ciecz zostaje teraz odfiltrowana od osadu, utleniona działaniem chloru i strącona czystym amoniakiem.

Strącone tlenki i wódziany są w silnym stopniu promieniotwórcze, co jest spowodowane przez obecność aktynu. Roztwór, pozostały po ich odfiltrowaniu, strąca się w dalszym ciągu węglanem sodu. Strącone węglany ziem alkalicznych przemycza się wodą i przemienia na chlorki, które odparowuje się do suchości i płóczy czystym, stężonym kwasem solnym. Chlorek wapnia rozpuszcza się w kwasie solnym prawie całkowicie, gdy chlorek baru radonośnego pozostaje nierozpuszczony. W ten sposób z jednej tony materiału podstawowego otrzymuje się około 7 *kg.* chlorku baru radonośnego, którego czynność jest około 60 razy większa od czynności uranu metalicznego. Chlorek ten przedstawia materiał gotowy do frakcyonowania.

.....

Promieniowanie nowych ciał radioaktywnych.

Sposoby badania promieni. Do badań nad promieniowaniem, wysyłałem przez ciało radioaktywne, nadawać

się może jakakolwiek z jego własności; w tym celu posiłkujemy się albo działaniem promieni na płytę fotograficzną, albo własnością jonizowania powietrza (wzrost przewodnictwa elektrycznego), albo też własnością wzbudzania fluorescencji w niektórych ciałach. Różne te metody badania nazywać wprost będą na przyszłość: metoda radiograficzna, metoda elektryczna i metoda fluoroskopowa.

Dwie pierwsze stosowane już były dawniej do badań nad promieniami uranowymi. Metoda fluoroskopowa nadaje się jedynie do badania ciał silnie radioaktywnych, uran bowiem i tor zamało wysyłają promieni, aby wzbudzić mogły fluorescencję.

Tylko metoda elektryczna pozwala na ścisłe pomiary; obie pozostałe dają jedynie rezultaty jakościowe. Przytem wyniki wszystkich trzech metod powyższych zaledwie z gruba mogą być ze sobą porównywane. Czy to będzie klisza fotograficzna, czy gaz, ulegający jonizacji, czy ekran fluoryzujący — każdy z nich pochłania jedynie cząstkę, zależną od swego charakteru, energii promieniowania, i zamienia ją na inną: chemiczną, jonizacyjną lub świetlną. Promieniowanie nie jest, jak wiemy, jednolite; cząstki promieniowania, pochłaniane przez ciała, mogą nie tylko ilościowo lecz i jakościowo różnić się między sobą. Wreszcie, nie jest wiadomem, czy pochłonięta energia będzie w całości zamieniona w ukazujący się nam rodzaj energii? Część jej przejsć może w ciepło, w promieniowanie wtórne, w energię chemiczną i t. p.; wszelkie więc pomiary promieniowania zapołączą jakiegokolwiek transformatora zależeć będą od jego natury.

Porównajmy dwie próbki, z których jedna zawiera rad, a druga polon, i które jednakowo są aktywne w przyrządzie z kondensatorem (fig. 84). Po zawinięciu ich w cienką blaszkę glinową próbka druga wyda się daleko mniej aktywną od pierwszej. Tak samo po umieszczeniu próbek pod ekranami fluoryzującymi zauważymy nierówne zmieszanie się fluorescencji, jeżeli próbki oddalać zaczniemy lub je owijając w coraz grubsze blaszki glinowe; fluorescencja wywołana

przez preparat polonowy szybciej się zmniejsza, niż wywołana przez preparat radowy.

Jakąkolwiek metodą będziemy badali, zawsze znajdziemy, że energia promieniotwórcza nowych tych substancji promieniotwórczych jest znacznie większa, niż uranu lub toru. Tak np. w małej odległości działają one prawie natychmiastowo na kliszę fotograficzną, gdy uran lub tor wymagają 24 godzin ekspozycji. Ekran fluoryzujący żywo świeci pod wpływem tych nowych substancji radioaktywnych, gdy żadne nawet ślady świecenia nie występują po zbliżeniu uranu lub toru. Ich działanie jonizujące jest również około miliona razy znaczniejsze od działania uranu lub toru.

Rozkład promieniowania. Badania wielu fizyków (Becquerel'a, Meyer'a i Schweidler'a, Giesl'a, Villard'a, Rutherford'a, P. Curiego) stwierdziły, że promieniowanie substancji radioaktywnych składa się z trzech grup promieni, które za Rutherford'em odróżnię literami α , β i γ .

1) Promienie α są bardzo słabo przenikliwe i, o ile się zdaje, stanowią najznaczniejszą część promieniowania; wyróżniają się one przez właściwe im prawa, według których są pochłaniane przez ciała. Pole magnetyczne odchyła je bardzo nieznacznie; początkowo uważane były za niezdolne do podobnego odchylenia, a to dla tego, że stosowano zbyt słabe pola magnetyczne. Odchylenie promieni α odbywa się w sposób podobny do odchylenia promieni katodowych, tylko w kierunku przeciwnym, czyli tak samo, jak odchylenie promieni kanałowych w rurce Crookes'a.

2) Promienie β są w ogólności mniej pochłaniane, niż poprzednie. Zbaczają one również ze swej drogi prostoliniowej w polu magnetycznym w sposób podobny, jak to czynią promienie katodowe.

3) Promienie γ przenikają z łatwością ciała i nie zbaczają w polu magnetycznym: porównać je można z promieniami Röntgen'a.

Promienie tej samej grupy mogą mieć zresztą różną

zdolność przenikania i to w granicach bardzo rozległych, jak np. promienie β .

Wyobraźmy sobie doświadczenie następujące: rad R umieszczony jest w wąziutkim zagłębieniu, wydrążonem dość głęboko w bloku ołowianym P (fig. 87). Pęczek promieni prostolinijny i mało rozchylony wybiega z wydrążenia. Przypuśćmy, że w przestrzeni, otaczającej naczynie z radem, utworzone zostało stałe pole magnetyczne, bardzo silne, prostopadłe do płaszczyzny rysunku i skierowane do tyłu rysunku. Trzy grupy promieni: α , β i γ zostaną w polu magnetycznem rozdzielone. Promienie γ o niezbyt wielkiem natężeniu kontynuować będą bieg swój po drodze prostej bez śladu nawet zбочenia. Promienie β odchylone zostaną w sposób podobny, jak promienie katodalne i zakreślą w płaszczyźnie rysunku linię kołową, zmienną w dość znacznych granicach dla poszczególnych promieni. Jeżeli blok ołowiany umieszczony jest na kliszy fotograficznej AC , to część BC , na którą padną promienie β , ulegnie zmianie. Wreszcie promienie α o bardzo wielkiem natężeniu odchylają się za ledwie zlekka. Opisują one w płaszczyźnie rysunku krzywą, której promień krzywizny jest bardzo wielki; kierunek zбочenia jest wprost przeciwny do kierunku odchylenia promieni β .

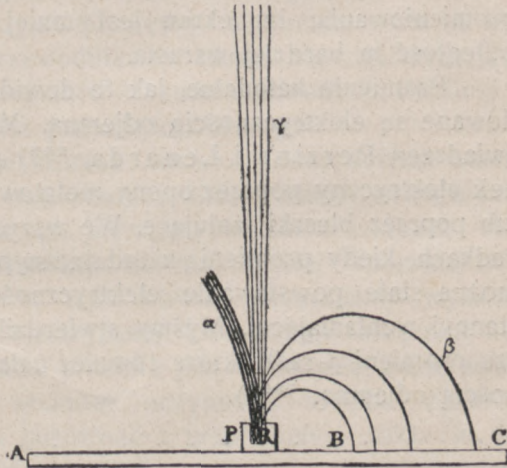


Fig. 87.

Jeżeli blok ołowiany przykryjemy blaszką glinową (o grubości 0,1 mm.), promienie α będą zatrzymane w bar-

dzo znacznej części, promienie β — w ilości znacznie mniej-
szej, gdy promienie γ przejdą prawie bez zatrzymania.

Promienie β . Becquerel *) badał je na drodze radiograficznej, w sposób wskazany na fig. 87; klisza fotograficzna AC , z warstwą czułą na stronie górnej, została przykryta papierem czarnym. Skoro położono na nim naczynie ołowiane z radem i skierowano pole magnetyczne ku tyłowi rysunku, a więc w ten sposób, że biegun dodatni (północny) leżał przed płaszczyzną rysunku, a ujemny poza nią, na kliszy uformowała się szeroka wstęga BC ; jest to prawdziwe widmo ciągłe, które wskazuje, że pęczek promieni β składa się z niezliczonej ilości rozmaicie odchylanych promieni pojedynczych. Jeżeli żelatynę kliszy pokrywamy rozmaitymi ekranami (z papieru, szkła, metali), to pewna część widma znika; promienie najbardziej odchylane w polu magnetycznym, czyli te, których drogi posiadają najmniejszy promień krzywizny, będą też najbardziej pochłaniane. Początek widma na kliszy rozpoczyna się w pewnej odległości od źródła promieniowania; im ekran jest mniej przepuszczalny, tem odległość ta bardziej wzrasta.

Promienie katodalne, jak to dowiódł Perrin, **) naładowane są elektrycznością ujemną. Mogą one, według doświadczeń Perrin'a i Lenarda, ***) przenosić swój ładunek elektryczny poprzez opony metalowe, złączone z ziemią, lub poprzez blaszki izolujące. We wszystkich natomiast przypadkach, kiedy promienie katodalne są pochłaniane, dostrzedz można stałe powstawanie elektryczności ujemnej w substancji wchłaniającej. Myśmy stwierdzili, że to samo dotyczy promieni β radu, które również naładowane są elektrycznością ujemną. ****)

*) Compt. rend. 130, 206, 372, 810 (1900).

***) Compt. rend. 121, 1130 (1895). Ann. de chim. et phys. (7) II, 496, (1897).

****) Lenard, Wied. Ann. 64, 279 (1898).

*****) P. i S. Curie, Compt. rend. 130, 647 (1900).

A więc zarówno promienie β , jak i promienie katodalne, są promieniami przenoszącymi ładunek elektryczny. Dotychczas nie poznano jeszcze żadnego zjawiska, w któreby elektryczność nie była związana z materią. Można zatem do promieni β zastosować tę samą teorię, którą zazwyczaj posługujemy się względem promieni katodalnych. Według tej teorii balistycznej, którą sformułował W. Crookes, a następnie dopełnił i rozwinął J. J. Thomson, promienie katodalne złożone są z cząsteczek niewymownie drobnych noszących między innymi nazwę elektronów; wybiegają one z katody z bardzo wielką prędkością; naładowane są elektrycznością ujemną. Można przeto przypuścić, że rad wyrzuca w przestrzeń takie właśnie cząsteczki naelektryzowane ujemnie.

Ziarnko radu, zawarte w rurce o ścianach cienkich i dobrze izolujących elektryczność, naładowuje się samo przez się do potencjału bardzo wysokiego. Według hipotezy balistycznej potencjał zwiększać się może aż do chwili, kiedy różnica potencjału pomiędzy wnętrzem rurki a otaczającymi rurkę przewodnikami stanie się wystarczającą, aby wstrzymać wybiegające z radu elektrony i zwrócić je z powrotem do źródła promieniotwórczego.

Przypadkowo wykonane zostało doświadczenie następujące: drobna ilość radu bardzo silnie radioaktywnego zamknięta była od dłuższego już czasu w rurce szklanej. Aby otworzyć rurkę uczyniliśmy na niej kreskę zapomocą noża do krajania szkła. W tejże chwili usłyszeliśmy wyraźnie trzask, jak od iskry elektrycznej. Obserwując rurkę pod lupą zauważyliśmy, że rurka przebita jest w miejscu, gdzie ściana rurki była cieńsza wskutek uczynionej kreski. Zjawisko można w zupełności porównać z przebijaniem szkła w butelce lejdejskiej naładowanej zbyt mocno. Jeżeli rurkę szklaną, zawierającą nieco radu, zatopimy i pozostawimy przez czas dłuższy, to można oczekiwać, że rurka pęknie bez żadnej widocznej przyczyny zewnętrznej.

Rad jest pierwszym przykładem ciała, które ładuje się samo przez się elektrycznością.

Ze względu na swe podobieństwo do promieni katodowych promienie β muszą ulegać także wpływowi pola elektrycznego czyli zbaczać w polu elektrycznym ze swej drogi prostoliniowej.

Mierzenie stosunku naboju do masy ($\frac{e}{m}$) i prędkości (v) cząsteczek promieni β może być uskutecznione zapomocą tych samych metod, co i w przypadku promieni katodowych. (Ob. str. 446 i następane).

Fluorescencya i świecenie. Pod wpływem promieni nowoodkrytych substancyi radioaktywnych niektóre ciała fluoryzują. Objaw ten odkryliśmy, działając promieniami polonu poprzez blaszkę glinową na warstwę platynocyanu baru. Zjawisko podobne daje się jeszcze łatwiej wywołać wystarczająco silnym radonośnym preparatem barowym. Jeżeli preparat jest bardzo silnie promieniotwórczy, to i fluorescencya jest bardzo piękna. Wielka ilość ciał zdolna jest do fluorescencyi pod wpływem promieni Becquerel'a.

Bary *) stwierdził, że sole metali alkalicznych i ziem alkalicznych, fluoryzujące od promieni świetlnych i promieni Röntgen'a, fluoryzują również gdy padną na nie promienie radu. Zaobserwowano również fluorescencyę papieru, bawełny, szkła i t. p., znajdujących się w sąsiedztwie radu. Pomiędzy rozmaitymi rodzajami szkła, najosobliwiej świeci szkło z Turyngii. Metale natomiast, o ile się zdaje, nie zdolne są do świecenia pod wpływem tych promieni.

Platynocyanek baru najlepiej się nadaje do badań nad promieniowaniem ciał radioaktywnych metodą fluoroskopową, bowiem może stwierdzać obecność radu jeszcze z odległości, przewyższającej 2 m.

Siarczek cynku fosforyzujący świeci od promieni radu niezwykle silnie i zachowuje swe świecenie jeszcze przez pewien czas po usunięciu substancyi promieniotwórczej. Na-

*) Compt. rend. CXXX. 1900. str. 776.

wet wtedy ciała mogą fluoryzować, kiedy oddzielone są od radu ekranem. Obserwowaliśmy świecenie platynocyanku baru, kiedy między nim a radem stanął człowiek. Jednakże zjawisko to objawia się bez porównania silniej, skoro substancja świecąca znajduje się tuż przed radem i nie jest od niego oddzielona przez żadne ciało stałe.

.....

Wszystkie związki baru radonośnego świecą same przez się. *) Sole chlorowcowe w stanie bezwodnym i suchym wysyłają światło szczególnie mocne. Świecenie podobne nie może być coprawda widziane podczas dnia pełnego, lecz łatwo je zaobserwować o zmroku lub w miejscach oświetlonych gazem. Światło, wysyłane przez preparaty stężone, bywa nawet tak silne, że przy niem czytać można. Podkreślić trzeba, że tu substancja świeci w całej masie, podczas gdy w zwykłej substancji fosforyzującej światło wypływa tylko z tej części powierzchni, jaka uprzednio została oświetlona. W powietrzu wilgotnem substancje radonośne tracą znacznie na sile świecenia, lecz po wyschnięciu wracają do normy. Świecenie, o ile się zdaje, jest nieznikome. Po kilku jeszcze latach nie znaleziono żadnej zmiany widocznej w świeceniu słabo promieniotwórczego preparatu, przechowywanego w ciemnym miejscu w rurce zalutowanej. Natomiast chlorek baru radonośny o bardzo znacznej promieniotwórczości i silnem świeceniu zmienia swe zabarwienie w ciągu kilku miesięcy; światło staje się fioletowe i dość znacznie się osłabia; jednocześnie produkt ulega zmianie; jeżeli go rozpuścimy w wodzie i odparujemy roztwór, to preparat odzyskuje z powrotem dawne swe światło.

.....

Związki radu są więc pierwszym przykładem substancji, samoistnie świecącej.

*) Curie. Société de Physique, 3 marca 1899. Giesel. Wied. Ann. LXIX, str. 91.

Wydzielanie ciepła przez sole radu. Curie i Laborde znaleźli, że sole radu wydzielają ciepło stale i niezmiennie. *) Wskutek tego sole radu posiadają temperaturę wyższą od temperatury otoczenia. Różnica temperatury zależy oczywiście od izolacji cieplnej soli radu i może wynosić kilka stopni; można ją zatem stwierdzić zapomocą zwykłego termometru.

Weźmy dwa naczynia izolujące względem ciepła zapomocą próżni (izolatory Dewara) i zupełnie podobne. W jednym umieszczamy zalutowaną rurkę szklaną, zawierającą 7 decygramów bromku radu; w drugim umieszczamy podobną rurkę zawierającą jakiegokolwiek ciało nie radioaktywne, np. chlorek baru. Dwa termometry, których rezerwoary są umieszczone tuż koło rurek, wskazują temperaturę. Otwór izolatorów jest zatkany watą. Kiedy równowaga temperatur jest ustalona, termometr znajdujący się w naczyniu zawierającym rad wskazuje temperaturę wyższą, aniżeli drugi termometr; różnica temperatur jest niezmienna i wynosiła w opisanem doświadczeniu 3° .

Ilość ciepła wydzielana przez rad w oznaczonym czasie może być zmierzona zapomocą kalorymetru lodowego Bunsen'a. Jeżeli umieścimy w tym kalorymetrze rurkę szklaną zalutowaną, zawierającą sól radu, to kalorymetr wskazuje stałą produkcję ciepła, która ustaje, skoro tylko oddalimy rad. Z pomiarów wynika, że każdy gram radu wydziela przez godzinę około 80 małych kaloryi. A zatem rad wydziela przez każdą godzinę ilość ciepła wystarczającą aby stopić równą masę lodu; zaś atom-gram (225 g) radu wydziela przez godzinę 18000 kaloryi czyli ilość ciepła niewiele mniejszą od tej, jaka jest wydzielana przez spalenie atomu-grama wodoru (1 g).

Jeżeli zważymy, że rad wydziela tak znaczną ilość ciepła niezmiennie, i że stan jego nie ulega widocznej zmianie chemicznej przez lat kilka, to musimy przyznać, że podobne zjawisko nie daje się wytłómaczyć przez żadną

*) Compt. rend., 16 marca 1903.

zwykłą reakcją chemiczną. Można przypuścić, że wydzielanie ciepła jest związane z przekształcaniem atomu radu, które to przekształcanie zresztą musielibyśmy uważać za bardzo powolne. Gdyby tak się rzecz miała, to wynikałoby stąd, że ilości energii, które wchodzi w grę podczas tworzenia się lub przekształcania atomów, są ogromne i przewyższają wszystkie te, które nam są znane.

.

Skutki fizyologiczne. Promienie radu działają na naskórek. Wpływ ten, spostrzeżony przez Walkhoff'a, potwierdzony został przez Giesel'a, a później przez Becquerel'a i P. Curie. *)

Jeżeli na skórze umieścimy cienką torebkę z celuloidu lub z kauczuku, zawierającą sól radową silnie promieniotwórczą, i pozostawimy przez czas pewien, to na skórze ukaże się zaczerwienienie albo zaraz lub też dopiero po pewnym czasie, tem dłuższym im promieniotwórczość preparatu była słabsza lub działanie krótsze; plama ta czerwona zjawia się w miejscu, które wystawione było na działanie promieni. Nadwrażenie skóry podobne jest do oparzelizny. W niektórych razach tworzy się pęcherz. Jeżeli ekspozycja trwa nazbyt długo, to powstaje rana, gojąca się niezwykle trudno. W jednym z doświadczeń p. Curie położył sobie na ramieniu preparat względnie słabo promieniotwórczy i przetrzymał go w ciągu 10 godzin. Zaczerwienienie ukażo się prawie natychmiastowo; nieco później ukazała się rana, która goiła się przez 4 miesiące. Naskórek został całkiem zniszczony i zaledwie bardzo powolnie z trudnością odnawiał się, pozostawiając jednak widoczną bliznę. Oparzelizna od radu działającego na skórę w ciągu $\frac{1}{2}$ godziny zjawiała się zaledwie po 15 dniach; powstał bąbel, który zagoił się zaledwie po 15 dniach. Inna znów oparzelizna od radu, działającego w ciągu jedynie 8 minut, zjawiała się do-

*) Walkhoff. Phot. Runschau, październik 1900. — Giesel. Ber. d. d. chem. Ges. XXIII. — Becquerel i Curie. Compt. rend. CXXXII, str. 1289.

piero po 2 miesiącach w postaci plamy czerwonej ze skutkiem nieznacznym, Rad powoduje zmiany podobne na skórze nawet poprzez metale, lecz skutek bywa słabszy. Dla uchronienia się od wpływu radu, należy unikać starannie zatrzymywania preparatu radowego na sobie przez czas dłuższy, lub też zamykać go w skrzynce ołowianej.

Wpływ promieni radu na skórę badał dr. Danlos w szpitalę św. Ludwika, celem zastosowania do leczenia niektórych chorób skórnych, podobnie jak to się praktykuje zapomocą promieni Röntgen'a lub ultrafioletowych. Rezultaty wypadły zachęcająco; naskórek częściowo zniszczony od radu odra-
stał z powrotem w stanie zdrowym.

.....

Wpływ temperatury na promieniowanie. Nie wiele jest jeszcze do powiedzenia o zależności promieniotwórczości ciał od temperatury. Wiemy już, że promieniowanie pozostaje bez zmiany w niskiej nawet temperaturze. P. Curie *) umieścił w powietrzu ciekłym rurkę szklaną, zawierającą chlorek baru radonośny. Świecenie substancji nie ustępowało w tych warunkach. W chwili, kiedy rurkę wydobywał z ośrodka zimnego, wydawało się nawet, jakoby była bardziej świecąca, niż w temperaturze zwykłej. W temperaturze powietrza ciekłego rad w dalszym ciągu pobudza do fluorescencji siarczan uranylu i potasu. P. Curie przekonał się na zasadzie pomiarów elektrycznych, że promieniowanie, mierzone w pewnej odległości od źródła promieniotwórczości, okazuje tę samą moc niezależnie od tego, czy rad posiada temperaturę zwykłą, czy też temperaturę powietrza ciekłego.

W doświadczeniach tych rad był umieszczony na dnie rurki; przez otwór górny promienie wychodziły i przenikały przez warstwę powietrza do wnętrza kondensatora. Otóż mierzono wpływ promieni na przewodnictwo powietrza w kondensatorze, czy to pozostawiając rurkę w powietrzu zwy-

*) Société de Physique. 5 marca 1900.

kłem, czy też zanurzając ją w powietrzu skroplonem. Rezultaty badania okazały się jednakowe w obu przypadkach.

Ogrzanie radu nie może nigdy zniszczyć całkowicie jego promieniotwórczości. Chlorek baru radonośny, ogrzany aż do stopienia (około 800°), zachowuje promieniotwórczość i świecenie. W każdym jednak razie długie działanie temperatury podwyższonej pociąga za sobą czasowe obniżenie promieniotwórczości; obniżenie to jest bardzo znaczne i wynosić może 75% całkowitego promieniowania; przytem stosunkowo mniej traci się promieni pochłanianych, niż promieni przenikliwych, które są prawie zupełnie zniszczone podczas ogrzewania. Po pewnym czasie promieniotwórczość substancji wraca do stanu, jaki miała przed ogrzaniem, lecz następuje to dopiero po 2 miesiącach od czasu ogrzania.

Promieniotwórczość wzbudzona.

Udzielanie promieniotwórczości ciałom z natury swej nieczynnym. W ciągu naszych badań nad substancjami promieniotwórczymi p. Curie i ja *) zauważyliśmy, że wszystkie ciała stają się promieniotwórczymi, skoro przez pewien czas przebywać będą w sąsiedztwie soli radonośnej. W pierwszej naszej publikacji o tym przedmiocie staraliśmy się dowieść, że radioaktywność, w ten sposób powstała w ciałach z natury swej nieczynnych, nie polega na przeniesieniu i osadzaniu pyłu promieniotwórczego na powierzchni ciał. Potwierdzają to nietylko całe szeregi doświadczeń, lecz także prawa, według jakich promieniotwórczość, wywołana w ciałach pierwotnie nieczynnych, znika, kiedy usunie się je z pod wpływu radu.

Nowemu temu zjawisku nadaliśmy nazwę promieniotwórczości wzbudzonej (indukowanej).

W badaniach posługiwaliśmy się blaszkami z różnych substancji i umieszczaliśmy je w pobliżu soli radonośnej;

*) Compt. rend. 6 listopada 1899.

następnie mierzyliśmy ich promieniotwórczość wzbudzoną zapomocą metody elektrycznej. W taki sposób doszliśmy do twierdzeń następujących:

1. Promieniotwórczość blaszki wystawionej na wpływ radu powiększa się wraz z czasem ekspozycji, zbliżając się asymptotycznie do pewnej granicy.

2. Promieniotwórczość blaszki, aktywowanej przez rad i następnie usuniętej z pod jego wpływu, znika po kilku dniach, zbliżając się asymptotycznie do zera.

3. Promieniotwórczość wzbudzona przez jeden i ten sam produkt radonośny w rozmaitych blaszkach nie zależy od natury blaszek; szkło, papier, metale aktywują się jednako silnie.

4. Promieniotwórczość wzbudzona w jednej i tej samej blaszce przez rozmaite sole radonośne przyjmuje wartość graniczną tem wyższą, im sól jest bardziej aktywna.

Wkrótce potem Rutherford *) ogłosił, że związki toru są również zdolne do wzbudzania promieniotwórczości w ciałach; przyczem odnalazł te same, co powyżej, prawa, a jednocześnie zauważył fakt bardzo znamieny, że ciała naelektryzowane odjemnie aktywują się silniej, niż inne. Rutherford również zaobserwował, że powietrze przepuszczone nad tlenkiem toru, zachowuje w ciągu 10 minut znaczne jeszcze przewodnictwo i w tym stanie udziela promieniotwórczości substancjom nieczynnym, a nadewszystko naładowanym odjemnie. Rutherford dla wytłomaczenia objawów powyższych przyjął, że związki torowe, a zwłaszcza tlenek, wydzielają szczególniejszego rodzaju emanację promieniotwórczą, którą może uprowadzać prąd powietrza, i która naładowana jest dodatnio. Emanacja ta ma być przyczyną promieniotwórczości wzbudzonej.

*) Philos. Mag., styczeń i luty 1900.

UWAGI.

¹⁾ (Str. 483). Mechanizm ładowania się elektrometru należy pojmować w sposób następujący. Między płytami *AB* i *CD* (fig. 88) wytwarzamy pole statyczne. Wówczas jony jednego znaku dążą w jedną stronę, przeciwnego — w stronę przeciwną. Jony są wytwarzane przez promieniowanie ciała radioaktywnego. Szybkość wyładowania elektrometru jest proporcjonalna do ilości jonów wytwarzanych; ilość jonów jest znowu proporcjonalna do natężenia promieniowania.

Zauważymy, że jony gazowe znikają nader prędko, jeżeli nie ma stałego źródła promieniowania. Naogół, przy użyciu silnych bodźców jonizujących, jonizacja już po upływie kilku sekund redukuje się do drobnego ułamka swej wartości

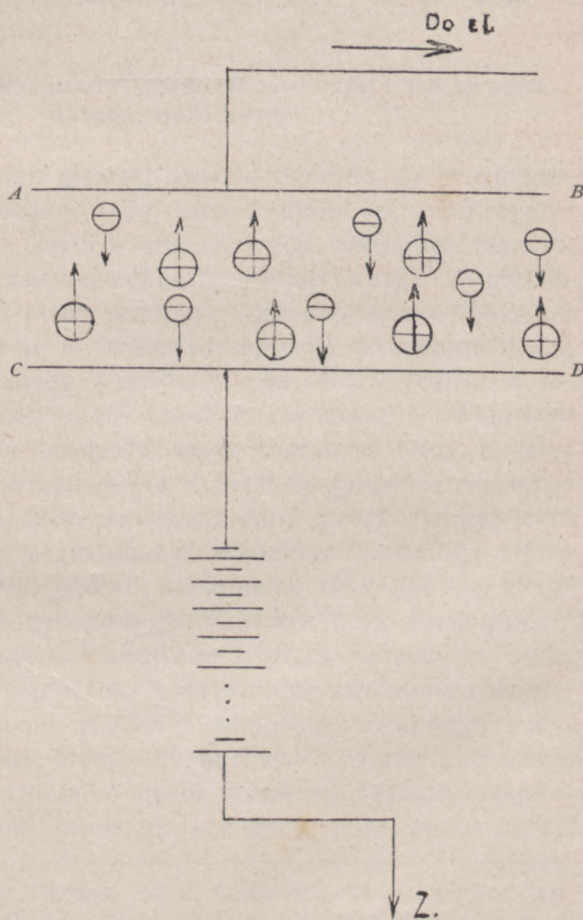


Fig. 88.

pierwotnej. Przyczyną znikania jonów jest t. zw. rekombinacja, to jest wzajemne zubożnianie się jonów o znakach przeciwnych.

²⁾ (Str. 483). Słowo piezoelektryczność pochodzi od greckiego „piezein“, co znaczy ścisnąć. Bracia Jakób i Piotr Curie odkryli, że, przy ścisnaniu lub rozciąganiu odpowiednio wyciętej płytki krystalicznej, przeciwległe jej ścianki ładują się elektrycznością znaków przeciwnych.

³⁾ (Str. 485). Ob. pracę Rutherford'a i Thomson'a na str. 451 zbioru niniejszego.

Przemiana promieniotwórcza. Przez E. Rutherford'a i F. Soddy'ego. *)**§ 1. Produkty przemiany promieniotwórczej i ich swoista natura materyalna.**

W poprzednich pismach zostało okazane, że promieniotwórczość pierwiastków radu, toru i uranu jest podtrzymywana przez stałe wytwarzanie nowych rodzajów materyi, które posiadają czasową zdolność oddziaływania. W niektórych przypadkach nowe produkty są wyraźnie odrębne od pierwiastka, który je wytwarza i mogą być oddzielone drogą procesów chemicznych. Przykłady tego można znaleźć w oddzielaniu toru X od toru i uranu X od uranu. ¹⁾ W innych przypadkach nowe produkty mają charakter lotny i same się oddzielają poprostu drogą dyfuzyi; tak powstają emanacje promieniotwórcze, które są wytwarzane przez związki toru i radu. Te emanacje mogą być skroplone zapomocą zimna i mogą z powrotem stawać się lotnemi; choć, jak się zdaje, nie posiadają one określonego powinowactwa chemicznego, to jednak są często okkludowane ²⁾ przez substancje stałe, które je wytwarzają, i zostają wyzwolone zapomocą rozpuszczenia; dyfundują one prędko w atmosferę swobodną i dyfundują też poprzez przegrody porowate; wogóle zachowują się jak gazy nieczynnne o nader wysokim ciężarze cząsteczkowym. W innych znów przypadkach nowa materya jest

*) Radioactive Change. By E. Rutherford, M. A., D. Sc., Macdonald Professor of Physics, Mc Gill University, and F. Soddy, M. A. (Oxon). Philosophical Magazine 1903, t. 5, str. 576.

samo przez się nielotna, lecz jest wytwarzana przez dalszą przemianę lotnej emanacji, tak, iż ostatnia działa jako pośrednik w procesie oddzielania tej materii od pierwiastka promieniotwórczego. Taki jest właśnie przypadek z dwoma różnymi rodzajami promieniotwórczości wzbudzonej ³⁾ na przedmiotach w pobliżu związków toru bądź radu. Posiadają one z kolei dokładnie określone i charakterystyczne własności materialne; tak, na przykład, promieniotwórczość wzbudzana toru ulatnia się w określonej wysokiej temperaturze i osiada w sąsiedztwie i może być rozpuszczona w pewnych odczynnikach, a nie w innych.

Te rozmaite nowe ciała różnią się zatem od materii zwykłej tylko na jednym punkcie: ich ilość mianowicie jest znacznie mniejsza od tej ilości granicznej, do której sięgają zwykłe metody analizy chemicznej i widmowej. To jednak nie jest dowodem przeciwko ich swoistemu materialnemu istnieniu; dla przykładu wskażemy, iż to samo jest słusznem w stosunku do radu przy jego występowaniu w naturze. Żadna próba chemiczna lub widmowa nie jest dość czuła, by wykryć rad w blendzie smołowej, i dopiero, gdy jego ilość wzrośnie wielokrotnie wskutek koncentracji, widmo charakterystyczne zaczyna się pojawiać. Pani Curie, a również i Giesel, zdołali otrzymać nader znaczne ilości czystych związków radowych, przetwarzając wiele ton blendy smołowej, a wyniki otrzymane pokazują, że rad jest w rzeczywistości jednym z najlepiej określonych i najbardziej charakterystycznych pierwiastków chemicznych. Tak również i różne nowe ciała, których istnienie zostało wykryte zapomocą ich promieniotwórczości, mogłyby niewątpliwie, jak i rad, być sprowadzone do granicy rozpoznawczej starych metod badania, gdyby było możliwem powiększyć do nieskończoności ilość materiału użytego.

§ 2. Synchronizm pomiędzy przemianą a promieniowaniem.

W niniejszym artykule pozostaje rozpatrzeć naturę przemian, w których są wytwarzane te nowe ciała. Nagroma-

dzone fakty doświadczalne są obecnie dostatecznie kompletne dla ustalenia w znacznym stopniu pewnej i określonej teorii ogólnej o naturze procesów tu zachodzących. Wkrótce stało się jasnym na mocy doświadczeń, że pomiędzy promieniotwórczością a zmianami, które ją podtrzymują, istnieje daleko ściślejszy związek, niż go zawiera myśl o wytwarzaniu materii promieniotwórczej. Przypominamy, że przypadki przemiany promieniotwórczej, które badano, mogą być sprowadzone do wytwarzania jednej substancji przez drugą (pomijając na razie promienie wyrzucane). Gdy zachodzi kilka przemian naraz, to nie są one współczesne, lecz stopniowe. Tak tor wytwarza tor X , tor X wytwarza emanację toru, a ostatnia wytwarza promieniotwórczość wzbudzoną. Można znów pokazać, że promieniotwórczość każdej z tych substancji nie jest związana ze zmianą, w której ona sama była wytwarzana, lecz — ze zmianą, w której ona z kolei wytwarza najbliższy nowy typ. Tak, po oddzieleniu toru X od toru, który go wytwarza, promieniowanie toru X jest proporcjonalne do ilości emanacji, którą on wytwarza, i zarazem promieniotwórczość, jak i zdolność toru X wydzielania emanacji, opadają podług tegoż samego prawa i w tym samym tempie. W najbliższym stadyum emanacja wytwarza promieniotwórczość wzbudzoną. Promieniotwórczość emanacji opada do połowy wartości swej w ciągu minuty, a ilość promieniotwórczości wzbudzonej wytworzonej przez nią w polu elektrycznym na elektrodzie odjemnej spada w tym samym stosunku. Te wyniki znajdują zupełne potwierdzenie w przypadku radu. Promieniotwórczość emanacji radowej spada do połowy swej wartości w cztery dni; podobnie spada jej zdolność wytwarzania promieniotwórczości wzbudzonej. Jest więc rzeczą niemożliwą patrzeć na promieniotwórczość, jako na wynik zmian już dokonanych. Promienie wysyłane muszą towarzyszyć przemianie systemu promieniującego w układ najbliższy przezeń wytworzony.

Promieniotwórczość nie dająca się oddzielić. Ten punkt widzenia od razu zdaje sprawę z istnienia w każdym z trzech pierwiastków promieniotwórczych promienio-

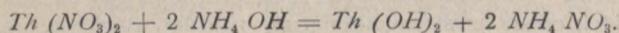
twórczości stałej, nie dającej się oddzielić zapomocą procesów chemicznych. Ta promieniotwórczość, nie dająca się oddzielić, składa się z promieni, które towarzyszą przemianie pierwotnej samego pierwiastka promieniotwórczego w pierwszy nowy produkt wytwarzany. Tak w przypadku toru około 25% promieni α towarzyszy pierwszej przemianie toru w tor X . W uranie całość promieni α nie daje się oddzielić i towarzyszy przemianie uranu w uran X .

Kilka ważnych wniosków wypływa z wyniku, że promieniowanie towarzyszy przemianom. Ciało promieniotwórcze musi tem samem zmieniać się, nie jest więc możliwem, by którykolwiek z nowych typów materji promieniotwórczej, jak uran X , tor X , dwie emanacje i t. d., był identyczny i jakimkolwiek z pierwiastków znanych. Gdyż istnieją one tylko przez czas krótki, i zanik ich promieniotwórczości jest wyrazem ciągłego zmniejszania się ich ilości. Z drugiej strony, ponieważ ostateczne produkty przemian nie mogą być promieniotwórcze, musi więc zawsze istnieć w procesie tym co najmniej jeden szczebel, do którego nie sięgają metody doświadczalne. Z tej racyi ostateczne produkty, wynikające z przemian, pozostają nieznane, gdyż ilości, wchodzące w grę, mogą być rozpoznane tylko zapomocą metod promieniotwórczych. W minerałach, spotykanych w naturze a zawierających pierwiastki promieniotwórcze, przemiany te musiały się odbywać stale w ciągu długich okresów czasu, i produkty ostateczne, o ile tylko nie uszły, powinny były nagromadzić się w ilości dostatecznej, by dać się wykryć; powinny więc występować w naturze, nieodłącznie towarzysząc pierwiastkom promieniotwórczym. Wskazywaliśmy już, że dla tych i innych powodów hel, być może, jest takim produktem ostatecznym, choć, rzecz prosta, to wskazanie jest obecnie czystą spekulacją. Jednak bliższe zbadanie minerałów promieniotwórczych według wszelkiego prawdopodobieństwa przyczyniłoby się do wyświeatlenia tej ważnej kwestyi. ⁴⁾

.....

UWAGI.

¹⁾ (Str. 513). Działając na sole toru (*Th*) amoniakiem, otrzymamy w osadzie wodorotlenek torowy. To działanie zachodzi podług równania



Filtrując mieszaninę, otrzymujemy odsącz, który nie zawiera toru, a więc nie powinien być promieniotwórczy. Okazuje się jednak, że dzieje się wręcz przeciwnie: tor traci niemal zupełnie swą promieniotwórczość, która w przeważnej swej części przechodzi do odsączu. Obserwując obydwie części, dostrzeżemy, że z biegiem czasu tor odzyskuje swe dawne własności, odsącz zaś traci swe własności zupełnie. Te napozór dziwne fakty wytłómaczono istnieniem *ThX*, ciała przejściowego pomiędzy torem, a emanacją toru; ów *ThX* jest ciałem nietrwałym o dość prędkim rozpadzie (po upływie 3.65 dnia jego promieniotwórczość opada do połowy swej wartości pierwotnej). Toru *X* nie otrzymano dotychczas w ilościach, pozwalających bezpośrednio stwierdzić jego naturę materialną. W analogicznych warunkach otrzymuje się uran *X*. Zauważymy, iż obecnie znaleziono jeszcze szereg ciał pośrednich pomiędzy torem a *ThX*: mezotor i radiotor.

²⁾ (Str. 513). Okkluzyą nazywamy pochłanianie gazów przez ciała stałe; zjawisko to jest do pewnego stopnia analogiczne do rozpuszczania się.

³⁾ (Str. 514). Emanacje toru i radu, dyfundując, rozchodzą się na wszystkie strony. Rozpadając się, emanacja przechodzi kolejno w ciała promieniotwórcze stałe, które osiadają na ściankach naczyń i t. p.; owe osady promieniotwórcze nazwali Państwo Curie, ich odkrywcy, promieniotwórczością wzbudzoną.

⁴⁾ (Str. 516). Ob. poniżej umieszczoną pracę Ramsaya i Soddy'ego.

Postępy nauk przyrodniczych zależne są nie tylko od nowych głębokich idei; często myśl najpiękniejsza, najdalej sięgająca, rozbija się w badaniu o brak środków i metod opanowania rzeczywistości. Pouczający tego przykład znajdzie czytelnik w odkryciu Zeemana: wszelkie wysiłki wielkiego Faradaya, skierowane ku wykryciu oddziaływania pola magnetycznego na emisję światła spetzły na niczem wobec braku narzędzi udoskonalonych: potężnych elektromagnesów i silnych spektroskopów. Przykład ten jest typowy, podobnych wieleby można przytoczyć. Jak zaś ogromnie wpłynąć może metoda właściwa na rozszerzenie naszego horyzontu myślowego, pokazują z drugiej strony badania analityczno-widmowe; chemia gwiazd, ich biegi, pole magnetyczne ciał niebieskich, nowe pierwiastki atmosfery, — oto szereg zdobyczy świetnie wieńczących doskonałą metodę Kirchhoffa i Bunsena.

Z pomiędzy wielkich odkryć analizy widmowej najciekawszem było zapewne odkrycie helu na słońcu i na ziemi, a wreszcie — obserwowanie jego tworzenia się z pierwiastków promieniotwórczych. Odkrycia te obfitują w momenty wysoce dramatyczne; odsyłamy w tym względzie do tekstów. Wytkniemy tu tylko kilka dat: w roku 1868 wyróżniono hel w atmosferze słońca; w roku 1895 odkrył Ramsay hel w mineralie klaweicie; w roku 1904 stwierdzają Ramsay i Soddy powstawanie helu z emanacji radowej; w roku 1909 dowiedli Rutherford i Royds doświadczalnie, że właśnie czasteczki α ciał promieniotwórczych są atomami helu o dodatnim naboju elektrycznym.

Hel; przez P. Williama Ramsay'a. *)

W chwili zaćmienia słonecznego, widzianego w Indjach 18 sierpnia 1868, skierowano po raz pierwszy spektroskop na chromosferę, tę świecąca powłokę gazową, która otacza słońce. Pomiedzy mnóstwem linii, które zajmują miejsce dobrze określone, napotkano też pewną linię, której pozycja zbliża się bardzo do linii *D* sodu; większa część obserwatorów wzięła tę linię za owę właśnie linię charakterystyczną. P. Jan'ssen pierwszy zauważył, że pozycja tej linii nie odpowiada pozycji linii sodu i nazwał ją *D*₃.¹⁾ W tym samym roku P.P. Frankland i Lockyer zajmowali się badaniem widma chromosfery (to słowo zostało przez nich wynalezione gwoli ściślejszego sformułowania idei o warstwach powierzchniowych słońca); ponieważ nie udało się im przypisać przyczyny pojawiania się tej linii ciałom pochodzenia ziemskiego, przeto nazwali pierwiastek hypotetyczny, który uważali za pierwiastek pochodzenia słonecznego, *h e l e m*, co pochodzi od greckiego $\eta\lambda\iota\omicron\varsigma$. Ta nazwa została przyjęta przez astronomów, i od tej pory wskazywanie tej nowej linii stało się łatwiejszem.

Od tego czasu rozpoznawano wielokrotnie tę linię helu, i nawet bez zaćmienia łatwo ją odnaleźć. Wystarczy rzucić

*) Tłómaczono z rozprawy autora w „Annales de Chimie et de Physique” 1898, t. 13, serya 7-ma, str. 433.

na szparę spektroskopu o wielkiej dyspersyi obraz brzegu słońca, by otrzymać tę charakterystyczną żółtą linię.

Po tem odkryciu obserwowano w widmie chromosfery kilka innych linii, mianowicie linię o długości fali 4471, ²) która zawsze towarzyszy linii D_3 , a nie odpowiada żadnej znanej linii widmowej ciał ziemskich. Następujące linie ukazują się zawsze w widmie chromosfery (Landauer, Spectralanalyse s. 155, 1869):

7056 (?)	4472 (?)
C 6563 (H)	4340,66 (H)
D_3 5875,98 (?)	4101,85 (H)
5316,87 (?)	3970 (?)
4871,50 (H)	3933,81 (Ca)

Za cyframi podajemy symbole pierwiastków, do których te linie należą. Widmo wysoków wyrzucanych od czasu do czasu poza chromosferę pokazuje cztery główne linie wodoru i linię D_3 . Linia 5316,87 należy do nieznanego jeszcze pierwiastka, który występuje w koronie, czyli w atmosferze, okalającej słońce, której wysokość jest znaczna. Linie helu spotykamy również w wielu gwiazdach stałych i w kilku mgławicach.

W roku 1882 astronom włoski Palmieri ogłosił w „sprawozdaniach Akademii Neapolitańskiej“, że odkrył hel w miękkiej substancji, stanowiącej część składową jednej z law Wezuwjusza; określił on długość fali światła wysyłanego (5875), lecz brak szczegółów jego doświadczeń. Zdaje się, że on obserwował linię helu, lecz nie oddzielił żadnego gazu.

Takie były nasze wiadomości o tym przedmiocie w roku 1895.

W styczniu miałem zaszczyt przedstawić Towarzystwu Królewskiemu w imieniu Lorda Rayleigh'a i mojem próby przez nas podjęte połączenia argonu, tego ciała chemicznie tak mało czynnego, z innymi ciałami prostemi. Nazajutrz otrzymałem list od P. Myers'a, wybitnego mineraloga, spra-

wującego wówczas urząd w British Museum; w liście tym mówił mi P. Myers:

Nie wiem, czy Pan wspomniał wczoraj uran pomiędzy innymi pierwiastkami, nad którymi Pan wykonywał doświadczenia w kwestyi azotu i argonu; częsta obecność azotu (?) w naturalnych związkach uranowych³⁾ skłania mnie do przypuszczenia, iż byłoby rzeczą pożyteczną wykonać w tym kierunku kilka doświadczeń; być może, iż Pan już ich próbował, a w takim razie proszę mi wybaczyć, iż przypomniatłem wyniki Hillebrand'a.

Nie uczyniłem był ani jednej próby zebrania gazów z uranitu, lecz rada P. Myers'a miała w mych oczach zbyt wiele wartości, bym ją mógł lekceważyć. Postarałem się więc o kleweit, minerał Norweski, odkryty przez P. Nordenskjöld'a; zawiera on złożony uranian toru, uranu i ołowiu. Potraktowałem go rozcieńczonym i wrzącym kwasem siarczanym. Minerał poddał się temu działaniu, i gaz wytworzony wpuściłem do probówki. W tym jednak czasie nasze badania nad argonem pochłaniały mój czas całkowicie, i dopiero w miesiącu marcu mogłem zbadać gaz zebrany. Dla oddzielenia azotu użyłem metody i przyrządów, które mi służyły do usuwania tego gazu z argonu. Otrzymałem wówczas resztę lotną, która w rurce Plücker'a dawała widmo o liniach argonu; prócz tych linii jednak—linię żółtą i kilka innych linii w czerwieni, linię zieloną, niebieską i fioletową. W tym zespole najbardziej uderzyła mnie linia żółta; i pragnąc porównać nowe widmo z widmem argonu, wytworzyłem w spektroskopie widmo argonu zapomocą rurki z elektrodami magnezowymi. Żywiłem wówczas myśl pochłaniania azotu zapomocą tego metalu. Otóż magnez przygotowuje się zapomocą chlorku magnezu i sodu; ten fakt tłómaczy, iż magnez zwykły zawiera pewną ilość sodu. Sód ulatnia się w rurce Plücker'a, dzięki czemu widać w widmie intensywną linię *D*. I otóż otrzymałem dwie linie żółte, które sobie nie odpowiadały. Z początku to zjawisko zdumiewało mnie w najwyższym stopniu. Byłoby rzeczą możliwą wątpić o wartości analizy widmowej? Lecz myśl ta, po zastanowie-

niu, wydała mi się niedorzeczną. Przy ulatnianiu się kilku kawałków soli kuchennej w płomieniu spektroskopu zauważyłem wyraźnie, że dwie linie żółte były natury odmiennej. P. Crookes, który był łaskaw określić długość fali tej nowej linii (5874.9) tegoż wieczora, zapewnił mnie telegraficznie nazajutrz, że tu chodzi o linię D_3 i że od tej chwili hel zaczął należeć do liczby ciał ziemskich.

Dwaj moi pomocnicy, P.P. Norman Collie i Morris Travers, byli łaskawi udzielić mi swej pomocy w energicznym prowadzeniu badań nad własnościami tego nowego ciała prostego.

Znajomość gęstości nowego gazu była oczywiście rzeczą nader ważną, gdyż ona pozwoliłaby nam ustalić jego ciężar cząsteczkowy. Ponieważ linia żółta D_3 była obserwowana w najwyższych okolicach chromosfery, można było zatem podejrzewać, że gęstość helu nie będzie bardzo duża. Określenie dokonane przy użyciu pierwszej próbki, która zawierała jeszcze argon, dało nam liczbę 3.89, jako gęstość maksymalną, odniesioną do tlenu, w założeniu, że jego gęstość = 16.

Ze stosunku wartości ciepła właściwego argonu pod stałym ciśnieniem i w objętości niezmiennej (1.66) Lord Rayleigh i ja wyprowadziliśmy wniosek, że argon jest gazem jednoatomowym podobnie, jak i para rtęci. Powtórzyłem to samo doświadczenie z próbką helu, która mi służyła do określenia gęstości i mogłem stwierdzić, że stosunek jest ten sam, co i w argonie. Należy więc uważać hel jako i argon, za gaz jednoatomowy. ⁴⁾

Jednocześnie dokonałem porównania widm argonu i helu. Z początku wiele linii wydawało mi się indyferentnymi; lecz badania późniejsze pokazały mi, że zbieganie się linii jest tylko pozorne i że silniejsze uginanie rozdziela je.

U W A G I.

¹⁾ (Str. 519). Linie D_1 i D_2 należą do sodu. Odpowiada im długość fali 5895,932 i 5889,965 jednostek Ångströma. Jednostka Ångströma = 10^{-7} mm.

²⁾ (Str. 520). W pracy tej długości fali są podane w jednostkach Ångströma (ob. uwagę 1-szą).

³⁾ (Str. 521). Związek pomiędzy uranem a helem jest obecnie zupełnie zrozumiały. Uran uważamy za pierwiastek macierzysty radu i całej rodziny uranowo-radowej. Przy każdej z przemian, którym towarzyszy wyrzucanie cząstek α , powstaje atom helu. Badania Strutt'a zdają się wskazywać, że w wielu przypadkach ilość helu nagromadzonego w minerałach uranowo-torowych jest w bezpośrednim związku z ich wiekiem geologicznym.

⁴⁾ (Str. 522). Teorya kinetyczna gazów daje na stosunek $\frac{C_p}{C_v}$ ciepła właściwego pod stałym ciśnieniem do ciepła właściwego przy objętości niezmiennej dla gazów jednoatomowych 1,666... (Ob. „Zasad Witkowskiego“ t. 2-gi, str. 291). Doświadczenie potwierdziło to w zupełności. Tak dla argonu $\frac{C_p}{C_v}$, według nowszych spostrzeżeń, = 1,667; dla neonu, kryptonu, ksenonu 1,66, dla pary rtęciowej 1,666.

Doświadczenia w dziedzinie promieniotwórczości i wytwarzanie przez rad helu. Przez Sir Williama Ramsay'a i Fryderyka Soddy'ego.

Komunikat otrzymany 28 lipca 1903. *)

1. Doświadczenia, dotyczące promieniotwórczości nieznanых gazów atmosfery.

W niedawnych latach były dokonane liczne badania przez Elster'a i Geitl'a, Wilson'a, Strutt'a, Rutherford'a, Cooke'a, Allan'a i innych w kwestyi samorzutnej jonizacji gazów atmosfery i promieniotwórczości wzbudzonej, którą można z niej otrzymać.¹⁾ Interesującym było przekonać się, czy w zjawiskach tych biorą jakikolwiek udział jednoatomowe nieczyste gazy atmosfery.²⁾ W tym celu użyto małego elektroskopu, zawartego w rurce szklanej o pojemności około 20 cm.³, pokrytej wewnątrz cynfolią. Po nabiciu przyrząd, o ile był opróżniony, zachowywał swój nabój bez zmniejszenia w ciągu trzydziestu sześciu godzin. Dostęp powietrza powodował powolne rozbrajanie. W podobnych doświadczeniach z helem, neonem, argonem, kryptonem i ksenonem (ten ostatni był zmieszany z tlenem)

*) „Experiments in Radioactivity and the Production of Helium from Radium“. By Sir William Ramsay, K. C. B., F. R. S., and Frederick Soddy, M. A. Received July 28, 1903. Proceedings of the Royal Society 1903, serya A, t. 72, str. 204.

szybkość rozbrajania była proporcjonalna do gęstości i ciśnienia gazu. To pokazuje, że gazy nie mają specjalnej promieniotwórczości sobie właściwej; doświadczenia te są również zgodne z tłómaczeniem już podanem przez tych badaczy, iż zdolność rozbrajania, posiadana przez powietrze, jest spowodowana przez promieniotwórczość pochodzenia zewnętrznego.

Były również czynione doświadczenia z resztkami, otrzymanymi przy niemal zupełnem odparowaniu powietrza ciekłego; wynik był znów ten sam; nie osiąga się wzrostu zdolności rozbrajania przez koncentrację przypuszczalnego składnika promieniotwórczego atmosfery.

2. Doświadczenia, dotyczące natury emanacji promieniotwórczej radu.

Słowo emanacja, pierwotnie użyte przez Boyle'a, („emanacje materyalne z ciał niebieskich“) było wskrzeszone przez Rutherford'a dla oznaczenia określonych substancji natury gazowej, stale wytwarzanych przez inne ciała. Terminu tego użył również Russell („emanacja z wody utlenionej“) w tem samym prawie znaczeniu. Jeżeli dodać „promieniotwórcza“, to można odróżnić zjawisko Rutherford'a od zjawisk, obserwowanych przez Russell'a. W artykule niniejszym traktujemy o emanacji lub gazie promieniotwórczym, otrzymywanym z radu. Rutherford i Soddy badali naturę chemiczną emanacji toru i emanacji radu i doszli do wniosku, że emanacje te są gazami nieczynnymi, które opierają się działaniu odczynników w sposób dotąd nieobserwowany, poza członkami rodziny argonu. Do tego wniosku doprowadził ich fakt, iż emanacje toru i radu mogły przechodzić bez zmiany ponad czernią platynową i palladową, ponad chromianem ołowiu, pyłem cynkowym i proszkiem magnezowym, przyczem te odczynniki były ogrzewane do czerwonego żaru. Od tego czasu znaleźliśmy, że emanacja radu, zmieszana z tlenem, znajdując się ponad ługiem,

opiera się długotrwałemu działaniu iskier, opiera się też w ciągu wielu godzin działaniu ogrzewanej mieszaniny proszku magnezowego i wapna. ³⁾ Zdolność rozbrajania pozostawała niezmienną po tem działaniu, a że użyto znacznej ilości radu, więc można było użyć samo-świecenia gazu, jako dowodu optycznego trwałości emanacyi.

W pewnem doświadczeniu emanację, zmieszaną z tlenem i umieszczoną ponad ługiem, poddawano w ciągu kilku godzin działaniu iskier; okazało się, że mała cząstka całkowitej mieszaniny rozbrajała elektroskop prawie momentalnie. Z głównej masy gazu usuwano tlen zapomocą zapalonego fosforu; nie pozostawało wówczas widzialnej resztki gazu. Gdy jednak wprowadzono inny gaz tak, by się zetknął z wierzchołkiem rurki, a potem usuwano go, to okazywało się, że emanacja znajdowała się w nim w ilości niezmięnionej. Zdaje się więc, że palenie się fosforu w tlenie i iskrzenie z tlenem nie wywierają na gaz wpływu, któryby można było wykryć zapomocą jego własności promieniotwórczych.

Doświadczenia z wapnem magnezowanym były ściślejszej ilościowe. Metoda badania gazu przed i po działaniu odczynnika polegała na oddzieleniu $\frac{1}{2000}$ części całego gazu zmieszanego z powietrzem i na mierzeniu szybkości rozbrojenia elektroskopu po wpuszczeniu gazu do rezerwuaru tego przyrządu. Rurka z wapnem magnezowanym jasno się żarzyła, gdy wpuszczano mieszaninę emanacyi i powietrza, a temperaturę żaru czerwonego podtrzymywano w niej w ciągu trzech godzin. Gaz wówczas wymywano za pomocą niewielkiej ilości wodoru rozcieńczonego powietrzem i poddawano go próbie, jak poprzednio. Znajdowano, że zdolność rozbrajająca gazu była zupełnie niezmięciona przez to działanie.

Z emanacją można postępować, jak z gazem; można ją wyciągać zapomocą pompy Töplera; można ją skraplać ⁴⁾ w rurce *U*, zanurzonej w ciekłym powietrzu; a gdy jest skroplona, można ją „przemywać“ innym gazem, który może być zupełnie odpompowywany i który wówczas nie posiada zdol-

ności świecenia i, praktycznie biorąc, niema zdolności rozbrajania. Przechodzenie emanacyi z miejsca na miejsce, przez rurki szklane, można śledzić w zaciemnionym pokoju okiem. Przy otwieraniu kranu pomiędzy pompą a rurką, zawierającą emanację, można zauważyć wolny przepływ poprzez rurkę włoskowatą; a dalej — szybkie przechodzenie wzdłuż rurek szerszych, — opóźnienie spowodowane przez korek z pięciotlenku fosforu i raptowną dyfuzję do rezerwuaru pompy. Świecenie wzrastało, gdy je ściskano; i gdy przepędzano mały pęcherzyk przez rurkę włoskowatą, świecił on niezmiernie jasno. Można było również dobrze obserwować szczególne własności promieniotwórczości wzbudzonej, pozostawionej przez emanację no szkle. Gdy emanację pozostawić w zetknięciu ze szkłem na czas krótki, promieniotwórczość wzbudzona trwa krótko; lecz gdy trzymać zapas emanacyi przez czas dłuższy, promieniotwórczość wzbudzona opada wolniej.

Emanacja powoduje zmiany chemiczne w sposób podobny, jak to czynią same sole radu. Emanacja odpompowana z 50 miligramów bromku radowego, rozpuszczonego w wodzie, zebrana wraz z tlenem ponad rtęcią w małej rurce szklanej, zabarwia szkło wyraźnie fioletowo w ciągu jednej nocy; wilgotna rtęć pokrywa się błonką czerwonego tlenku, lecz sucha zdaje się pozostawać niezmieniona. Mieszanina emanacyi z tlenem, przechodząc przez kran posmarowany tłuszczem, wytwarza dwutlenek węgla.

3. Występowanie helu w gazach wytwarzanych przez bromek radowy.

Gaz, wytworzony przez rozpuszczenie w wodzie 20 miligramów czystego bromku radowego (jak nas poinformowano, był on przygotowywany przez trzy miesiące) składał się głównie z wodoru i tlenu; zbadano go na obecność helu, usuwając wodór i tlen przez zetknięcie z częściowo utlenionym spiralnie zwiniętym drutem miedzianym, zaś wytwarzaną parę wodną — zapomocą rurki z pięciotlenkiem fosforu. Gaz

przechodził do małej rurki próżniowej, która pokazywała widmo dwutlenku węgla. Rurka próżniowa była połączona z małą rurką U , a ta ostatnia była oziębianą przez ciekłe powietrze. To znacznie zmniejszało jasność widma CO_2 , i ukazywała się linia D_3 ⁵⁾ helu. Jej tożsamość była stwierdzona przez porównanie z widmem helu, obserwowanem w spektroskopie zapomocą pryzmatu porównawczego, zgodność okazano w granicach 0.5 jednostki Ångströma. ⁶⁾

Doświadczenie powtórzono starannie w przyrządzie zbudowanym ze szkła poprzednio nieużywanego, posługując się 30 milligramami bromku radowego, mającego prawdopodobnie cztery lub pięć miesięcy; ten preparat był nam łaskawie pożyczony przez Profesora Rutherford'a. Gazy wytworzone przepuszczano na ich drodze do rurki próżniowej przez oziębianą rurkę U , co zupełnie zapobiegało przechodzeniu dwutlenku węgla i emanacyi. Otrzymywano widmo helu i, praktycznie biorąc, widziano wszystkie linie, włączając tu: 6677, 5876, 5016, 4932, 4713, 4472. Były również obecne linie o przybliżonej długości fali 6180, 5695, 5455, które jeszcze nie zostały zidentyfikowane.

.....

4. Wytwarzanie helu przez emanację radu.

Maksymalną ilość emanacyi, otrzymaną z 50 milligramów bromku radowego, przenoszono zapomocą tlenu do rurki U , oziębionej ciekłym powietrzem, poczem tlen wyciągano zapomocą pompy. Następnie emanację przemywano małą ilością świeżego tlenu, który znów odpompowywano. Rurka próżniowa przylutowana do rurki U nie pokazywała ani śladu helu po usunięciu powietrza ciekłego. Ukazywało się jakieś nowe widmo, prawdopodobnie widmo emanacyi, lecz to nie zostało jeszcze w zupełności zbadane, spodziewamy się, że wkrótce ogłosimy nowe szczegóły. ⁷⁾ Gdy gaz stał od 17 do 21-go, ukazało się widmo helu i obserwowano linie charakterystyczne w pozycji identycznej do pozycji

linii, które rzucała jednocześnie w pole widzenia rurka helu. 22-go widać było linie: żółtą, zieloną, dwie niebieskie i fioletową i w dodatku trzy nowe linie obecne również w helu, otrzymanym z radu. Doświadczenie sprawdzające dało wyniki identyczne.

Pragniemy wyrazić wdzięczność za część radu użytego w tych poszukiwaniach Fundacyi dla Badań Naukowych przy Towarzystwie Chemicznem.

U W A G I.

¹⁾ (Str. 524). Odkrycie promieniotwórczości atmosferycznej zawdzięcza nauka Elster'owi i Geitlowi, nauczycielom gimnazjalnym w Wolfenbüttel pod Brunświkiem, badaczom wybitnym o niepospolitym talencie eksperymentalnym. Elster i Geitel obserwowali stratę ładunku w powietrzu atmosferycznym, której doznawały ciała doskonale izolowane (r. 1901). Widząc, że strata zależy od miejscowości i warunków atmosferycznych, wpadli na myśl, że przewodnictwo powietrza jest wywołane przez obecność ciał promieniotwórczych. Tę hipotezę zdołali wkrótce stwierdzić doświadczalnie: drut izolowany, długi na 20 m., podniesiony do wysokiego potencjału odjemnego zapomocą maszyny elektrostatycznej, po kilku godzinach okazał się pokryty osadem promieniotwórczym, pochodzącym z rozpadu obecnej w powietrzu emanacyi radu i toru. Emanacje te przedostają się w atmosferę z ziemi, dyfundując poprzez kanały włoskowate. Skąły skorupy ziemskiej posiadają zawsze niewielką domieszkę soli radowych; ilość radu zawarta w ziemi odgrywa zapewne w sumie ważną rolę w geologii globu. Tak, naprzykład, obliczono, że rad w ziemi zawarty wydzielaniem przez się ciepłem kompensuje straty, spowodowane przez stopniowe ostygnięcie ziemi.

Większe ilości emanacyi promieniotwórczych można znaleźć nieraz w przestrzeniach zamkniętych, np. grotach, jaskiniach. Piszący te słowa znalazł wielkie skupienie emanacyi radowej w Jaskini Jerzmanowskiej pod Ojcowem. (Ob. Sprawozdania Tow. Naukowego

Warszaw., Wydział nauk mat. i przyr. 1910, zeszyt I). Rzecz godna uwagi i niewyjaśniona, że okoliczne jaskinie, znajdujące się w skałach z tej samej epoki geologicznej, nie okazywały obecności ciał promieniotwórczych w ilościach większych, niż się to spotyka normalnie w atmosferze.

²⁾ (Str. 524). Należą tu: argon, krypton, ksenon, neon i hel.

³⁾ (Str. 526). Mieszanina sproszkowanego magnezu i wapna działa energiczniej, niż sam magnez; w żarze powstaje prawdopodobnie wapń metaliczny, który energicznie wstępuje w reakcję z innymi ciałami.

⁴⁾ (Str. 526). Temperatura skroplenia emanacji, jak i temperatura skroplenia wszelkiego gazu, zależy od ciśnienia. Rutherford znalazł doświadczalnie następującą tabelkę zależności pomiędzy temperaturą a prężnością pary nasyconej emanacji.

Prężność pary.	Temperatura.
76 cm. rt.	— 65° C.
25 " "	— 78° C.
5 " "	— 101° C.
0,9 " "	— 127° C.

Przy niskich ciśnieniach cząstkowych emanacja radu skrapla się w temperaturze — 160° C.; jak widzimy z tabelki powyższej punkt wrzenia emanacji pod ciśnieniem atmosferycznym = —65° C. Temperatura krytyczna emanacji podług Gray'a i Ramsay'a = 104° 5 C.

Skraplanie emanacji (Rutherford i Soddy, 1903) dało niezmiernie ważki dowód materialności tej substancji promieniotwórczej. Skraplaniem emanacji posługują się zazwyczaj w pracowniach promieniotwórczych dla oddzielenia emanacji od pozostałych domieszek gazowych.

⁵⁾ (Str. 528). Żółta linia helu; jej długość fali = 5875,625 jednostek Angströma czyli 10^{-7} mm.

⁶⁾ (Str. 528). Ob. uwagę poprzednią.

⁷⁾ (Str. 528). Widmo emanacji zostało dokładnie zbadane (fotograficznie) przez Rutherforda i Royds'a w roku 1908. Jest to widmo zupełnie odrębne tak od widma radu, jako też od widma helu.

K O N I E C.

SKOROWIDZ NAZWISK.

- Abbe* str. 293.
Aepinus str. 125.
Airy str. 352.
d'Alibard str. 9, 11.
Allan str. 524.
Ampère Andrzej Marya: zyc. str. 82—84; „Wykład metodyczny zjawisk elektrodynamicznych“ str. 85—90; wzmianki w tekście: str. 79, 80, 81, 96, 98, 99, 107, 108, 114, 138, 139, 143, 165, 166, 170, 171, 210.
Arago: zyc. str. 294; wzmianki w tekście: str. 50, 80, 85, 96, 98, 99, 107, 108, 115, 296, 297, 298, 299, 356, 357, 376.
Arago i Fresnel ob. *Fresnel*.
Argand str. 382.
Balfour Stewart str. 436.
Banks str. 62.
Barclay str. 164.
Bartholin str. 236, 249.
Bartoli str. 338, 341, 342, 343.
Bartoloni str. 46.
Bary str. 504.
Beattie str. 480, 486.
Becquerel str. 477, 480, 481, 482, 486, 487, 500, 502, 507.
Bémont str. 492.
Benjamin str. 6.
Bennet str. 49.
Biot: zyc. str. 79, 298; wzmianki w tekście: str. 80, 143, 294, 297, 298, 303.
Bloch str. 489.
Buguski J. J. str. 147, 148.
Boltzmann: zyc. str. 337; „O stosunku pomiędzy ciepłem promieniem a drugą zasadą“, str. 338—341; wzmianki w tekście: str. 146, 172.
Bonaparte str. 50.
Boyle str. 525.
Bradley str. 350.
Branly str. 195, 196.
Brougham lord, str. 282.
Bunsen Robert ob. *Kirchhoff i Bunsen*.
Campbell str. 93, 103.
Carlisle str. 117.
Cavallo str. 41, 65.
Cavendish str. 21, 125, 143, 144, 150.
Challis str. 355.
Chwolson str. 309, 321.
Clelland Mc. str. 438.
Colbert str. 221.
Collie N. str. 522.
Collinson str. 7, 11.
Cooke str. 524.
Coulomb Karol August. zyc. str. 20—21, „Rozprawy o elektrycz-

- ności i magnetyzmie" str. 22—34;
wzmianki w tekście: str. 127,
128, 133, 143, 165, 166, 170, 171.
- Crémieu V.* str. 198, 199, 200.
- Crookes William:* zyc. str. 399 —
400; „O materyi promienistej“
str. 401 — 414; wzmianki w tek-
ście. str. 343, 397, 422, 430, 449,
503, 522.
- Cruikshank* str. 117.
- Cumenge* ob. *Friedel i Cumenge.*
- Curie Jakób* str. 465, 484.
- Curie Marya ze Skłodowskich:* zyc.
str. 463 — 465; „Przedmowa do
dział Piotra Curie“ str. 465—477;
„Badanie ciał radioaktywnych“
str. 477 — 511; wzmianki w tek-
ście: str. 398, 514.
- Curie Piotr:* zyc. str. 465 — 477;
wzmianki w tekście: str. 464,
477, 478, 479, 482, 491, 492, 500,
506, 507.
- Dannemann* str. 14.
- Darcet* str. 295.
- Darwin Karol* str. 74.
- Davy Humphry:* zyc. str. 95; wzmian-
ki w tekście str. 95, 96, 97, 100,
105, 117, 143.
- Debierne* str. 464, 493, 497.
- Debray* str. 491.
- De la Rive* str. 69, 90, 143.
- De-Lor* str. 9.
- Demarçay* str. 488, 494, 495.
- De-Mairan* str. 343.
- Descartes* str. 147, 220, 228.
- Dewar* str. 96.
- Dickstein S.* str. 150.
- Doppler* str. 355.
- Drude P.* str. 150.
- Du-Bois Reymond* str. 71.
- Dufay* str. 3, 18, 343.
- Dumas* str. 96, 105.
- Eddy* str. 338.
- Eichenwald:* „Prądy konwekcyjne“
str. 197 — 201; wzmianki w tek-
ście: str. 169, 211.
- Einstein A.* „W sprawie elektrody-
namiki ciał poruszających się“
str. 369 — 376; wzmianka w tek-
ście: str. 353.
- Elster i Geitel* str. 417, 480, 481,
524, 529.
- Esmarch* str. 75.
- Etard* str. 488.
- Euklides* str. 140.
- Euler* str. 286.
- Faraday Michał:* zyc. str. 94 — 106;
„Odkrycie prądów indukcyjnych“
str. 107 — 117; „Prawa elektro-
lizy“ str. 117 — 123, „O induk-
cji“ str. 123 — 137. Metoda Fa-
raday'a: str. 138 — 140, „O ma-
gnesowaniu światła...“ str. 380—
384; wzmianki w tekście: str.
69, 71, 81, 84, 85, 149, 152, 162,
166, 167, 168, 171, 176, 188, 197,
202, 385, 386, 401, 402, 403, 518.
- Faterson* str. 465.
- Feddersen* str. 179.
- Fizeau H.:* „O hipotezach dotyczą-
cych eteru świetlnego...“ str.
355 — 359; wzmianki w tekście:
str. 163, 169, 200, 351, 377.
- Forbes* str. 147.
- Foucault* str. 163.
- Frankland* str. 519.
- Franklin Benjamin:* zyc. str. 5—10;
„Doświadczenia i obserwacje
nad elektrycznością“ str. 11—17;
wzmianki w tekście: str. 4, 71.
- Fraunhofer* str. 331.
- Fresnel Augustyn:* zyc. str. 294 —
300; „Rozprawa o dyfrakcji świat-
ła“ str. 301 — 312; „Obliczenie
natężenia światła w środku cie-
nia...“ str. 312 — 316; wzmianki
w tekście: str. 99, 150, 162, 169;

- 188, 189, 200, 249, 251, 343, 352, 355, 356, 357, 359, 377.
- Fresnel i Arago*: „Rozprawa o wzajemnym oddziaływaniu światła spolaryzowanego“ str. 317—319.
- Friedel i Cumenge* str. 490.
- Friedrich* str. 429.
- Galvani Ludwik Aloizy*: zyc. str. 37; „O siłach elektryczności...“ str. 38—47; wzmianki w tekście: str. 36, 49, 50, 52, 53, 54, 59, 61, 62, 72.
- Gauss* str. 83, 151, 170, 178.
- Gay Lussac* str. 96, 295, 297.
- Geitel* ob. *Elster i Geitel*.
- Gibson* str. 164.
- Giese* str. 416, 417.
- Giesel* str. 477, 495, 500.
- Gilbert* str. 3.
- Gimingham* str. 409.
- Gladstone* str. 164.
- Glazebrooke* str. 437.
- Goethe* str. 80.
- Gray Stefan* str. 3.
- Green* str. 151, 162.
- Grimaldi* str. 280, 281, 307.
- Guericke Otto von* str. 3.
- Hale* str. 379, 393.
- Hallwachs* str. 176.
- Hauch* str. 75.
- Hauksbee* str. 18.
- Helmholtz H.* str. 69, 150, 174, 178, 179, 197, 397, 415, 417, 420.
- Henry* str. 117, 479, 480
- Hermann* str. 71.
- Hertz Henryk*: zyc. str. 174 — 178; „Badania nad rozchodzeniem się siły elektrycznej“ str. 179—195; wzmianki w tekście: str. 103, 149, 166, 169, 173, 200, 201, 202, 423, 443.
- Hillebrand* str. 521.
- Himstedt* str. 172, 198, 199.
- Hittorf* str. 397, 422.
- Hobbes* str. 148.
- Hooke Robert*: zyc. str. 292 — 293; wzmianki w tekście: 286, 288.
- Hopkinson* str. 6.
- Howard* str. 195.
- Hull* ob. *Nichols i Hull*.
- Hutchinson* ob. *Rowland i Hutchinson*.
- Huygens Chrystyan*: zyc. str. 219—224; „Traktat o świetle“ str. 225 — 248; wzmianki w tekście: str. 162, 275, 309, 310.
- Jacobson* str. 76.
- Jones Bence* str. 401.
- Janssen* str. 519.
- Kammerlingh Onnes* str. 390.
- Kant* str. 148.
- Karpen* str. 198, 199.
- Kelvin lord*, ob. *Thomson William*.
- Kepler* str. 302, 342.
- Kerr* str. 101, 379.
- Kimmersley* str. 6.
- Kirchhoff Gustaw*: zyc. str. 325—326; wzmianka w tekście str. 72.
- Kirchhoff i Bunsen*: „Analiza chemiczna na drodze spostrzeżeń widmowych“ str. 327 — 335; wzmianki w tekście, str. 518.
- Kleist von*, str. 7.
- Klemencic* str. 172.
- Knipping* str. 429.
- Kohlbrausch*: zyc. str. 171; wzmianki w tekście: str. 158, 159.
- König* str. 22.
- Kossakowski L.* str. 463.
- Laborde* str. 506.
- Lamétherie de* str. 72.
- Landauer* str. 520.
- Langevin* str. 438, 466, 474.
- Laplace* str. 49, 80, 297.
- Laue* str. 429.
- Lauth* str. 479.
- Lavoisier* str. 49.
- Lebediew Piotr*: zyc. str. 337; „Ba-

- dania nad siłami ciśnienia światła" str. 341 — 348; wzmianka w tekście, str. 35.
- Lecher E.* str. 197.
- Lenard Filip:* „O promieniach katodowych...” str. 422 — 427; wzmianki w tekście: str. 430, 502.
- Lloyd* str. 188.
- Lockyer Normann* str. 449, 519.
- Lodge O.* str. 195.
- Longomontanus* str. 343.
- Lorentz Henryk Antoni* str. 150, 168, 169, 176, 200, 201, 202, 215, 352, 351, 361, 379, 393
- Mach E.* str. 178.
- Malus* str. 297, 298.
- Marconi* str. 139, 196.
- Mateucci* str. 144.
- Maxwell James Clerk:* zyc. str. 147 — 150; „O metodzie Faraday'a "str. 138 — 140; „O polaryzacji elektrycznej" str. 151 — 156; „Porównanie jednostek elektrostatycznych i elektromagnetycznych" str. 157—160; „Teoria elektromagnetyczna światła" str. 160 — 165; wzmianki w tekście: str. 21, 84, 103, 131, 138, 144, 146, 175, 176, 177, 181, 188, 197, 200, 201, 211, 213, 341, 378, 385.
- Melbourne* str. 98.
- Mersenne:* zyc. str. 220.
- Meyer St.* str. 500.
- Michelson Albert A.* str. 172, 352, 353, 378.
- Michelson i Morley:* „O ruchu względnym ziemi i eteru światłonośnego" str. 360—368; wzmianka w tekście, str. 378.
- Milicer N.* str. 463.
- Moissan* str. 488.
- Morley E. W.* ob. *Michelson i Morley.*
- Mossotti* str. 168, 169, 215.
- Musshenbroek* sta. 7.
- Myers* str. 520, 521.
- Natanson Władysław* str. 439.
- Nernst* str. 69, 70.
- Newcomb* str. 172.
- Newton Izaak:* zyc. ob. tom. I str. 42, „Optyka" str. 252 — 277; wzmianki w tekście: str. 20, 171, 189, 282, 285, 288, 302, 303, 304.
- Nichol* str. 382.
- Nichols i Hull* str. 349.
- Nicholson* str. 117.
- Niewęgłowski* str. 479, 480.
- Nollet* str. 18.
- Nordenskjöld* str. 521.
- Oersted Jan Christian:* zyc. str. 73 —74; „Doświadczenia nad działaniem konfliktu elektrycznego" str. 75—80; wzmianki w tekście: str. 83, 85, 89, 98, 138, 143.
- Oettingen* str. 107.
- Ohm* str. 72.
- Olarski K.* str. 439.
- Ostwald* str. 69.
- Palmieri* str. 520.
- Papin Denis* str. 222.
- Peltier* str. 70.
- Pender H.* str. 169, 198, 199, 200.
- Perrin J.* str. 441, 442, 502.
- Poincaré Henryk* str. 167, 199, 479.
- Poinsot* str. 296.
- Poisson* str. 125, 126, 143, 297, 312.
- Priestley* str. 49, 141.
- Prout* str. 449.
- Rayleigh* lord str. 437, 520, 522.
- Ramsay William:* „Heł" str. 519—423, wzmianki w tekście: str. 518.
- Ramsay W. i Soddy F.* „Wytwarzanie przez rad helu" str. 524—529.
- Reinhard* str. 75.
- Richmann* str. 9.

- Righi* str. 195, 196.
Ritter str. 117, 143.
Römer str. 228
Röntgen Wilhelm Konrad; zyc. str. 428 — 429; „O sile elektrodynamicznej, wywołanej przez ruch dielektryku...” str. 212 — 215; „O nowym rodzaju promieni” str. 430 — 435; wzmianki w tekście: 103, 166, 169, 197, 200, 201, 398, 433.
Rosa str. 172.
Rousseau str. 82.
Rowland Henryk August; zyc. str. 203; wzmianki w tekście str. 103, 166, 170, 197, 198, 199, 204.
Rowland i Hutchinson: „O działaniu elektromagnetycznym prądów konwekcyjnych” str. 204—209; wzmianki w tekście: str. 198, 199.
Royds str. 518, 530.
Ruhmkorff str. 180.
Russel str. 525.
Rutherford Ernest str. 438, 462, 480, 482, 486, 500, 518, 524, 525, 528, 530. — Ob. *Thomson J. J. i Rutherford*.
Rutherford i Soddy: „Przemiana promieniotwórcza” str. 513—517.
Sagnac str. 483.
Saussure str. 49.
Savart str. 79, 298.
Schmidt str. 480, 482.
Schooten von str. 220.
Schuster Artur: „Wyładowanie elektryczności poprzez gazy” str. 415 — 421; wzmianki w tekście: str. 397, 399.
Schützenberger str. 479.
Schweidler str. 500.
Schwerd str. 312.
Searle str. 172.
Seebeck Tomasz Jan; zyc. i wzmianka: str. 80.
Sing str. 6.
Skłodowska Curie Marya ob. *Curie*.
Smoluchowski M. str. 439, 480, 486.
Soddy Fryderyk ob. *Ramsay i Soddy* oraz *Rutherford i Soddy*.
Srebrny S. str. 430.
Starke str. 410.
Stokes str. 355.
Strutt str. 523, 524.
Swan str. 331.
Symmer R. str. 19.
Tait str. 150.
Tales str. 3.
Teofrast str. 3.
Thenard str. 295.
Thompson Silvanus P. str. 94, 144.
Thomson J. J. zyc. str. 436 — 439; „Promienie katodowe” str. 440—450; wzmianki w tekście: str. 172, 398, 503.
Thomson J. J. i Rutherford E. „O przechodzeniu elektryczności przez gazy, wystawione na działanie promieni Röntgen’a” str. 451—456.
Thomson Wiliam (lord Kelvin) str. 84, 102, 151, 152, 159, 160, 163, 171, 172, 206, 210, 211, 486.
Torricelli str. 230.
Townsend str. 438.
Travers str. 522.
Troost str. 479, 480.
Turgot str. 9.
Tyndall str. 96, 144.
Urbain str. 488.
Vassalli str. 58,
Verdet E. str. 301.
Villard str. 500.
Volta Aleksander; zyc. str. 49—50; „O pewnych odkryciach Galvani’ego...” str. 51 — 62. „O elektryczności, wzbudzonej jedynie

- przez zetknięcie różnych rodzajów materji przewodzących“ str. 62 — 69; wzmianki w tekście: str. 37, 47, 48, 96, 100, 117.
- Voltaire* str. 9.
- Walkhoff* str. 507.
- Watson* str. 6.
- Weber Wilhelm.* zyc. str. 170, wzmianki w tekście: str. 83, 158, 159, 163.
- Weiss P.* str. 474.
- Wiedemann* str. 338.
- Wiener O.* str. 188.
- Wilson* str. 524.
- Winkler* str. 7.
- Witkowski A.* str. 93, 146, 167, 169, 170, 180, 196, 201, 211, 249, 280, 292, 309, 324, 378, 457, 462, 523.
- Wleugel* str. 75.
- Wollaston* str. 96.
- Young Tomasz:* zyc. str. 282—283; „Teorya światła i barw“ str. 284—288; „Doświadczenia i obliczenia, dotyczące optyki fizycznej“ str. 289 — 291; wzmianki w tekście: str. 148, 150, 162, 296, 298, 307.
- Zeeman P.* „O wpływie magnetyzmu na naturę światła...“ str. 385 — 390; wzmianki w tekście: str. 104, 379, 398, 518.
- Zeise* str. 76.
- Zöllner* str. 343.

SKOROWIDZ RZECZY.

- Aberracya chromatyczna w soczewkach*, str. 254, 255, 256.
 — *gwiazd stałych*, str. 350—351, 360.
- Akademia Nauk Paryska*, str. 35, 221.
- Aktyn*, str. 493.
- Analiza widmowa*, str. 327—335, 387, 388, 389, 390, 494, 495, 518, 519, 520, 522, 528, 529, 530.
- Anelektryczne ciała*, str. 40, 48.
- Astatyczne układy*, str. 84.
- Atmosfera elektryczna*, str. 18.
- Barwy cienkich warstewek*, str. 267—270, 286—287.
 — *rozszczerpienie światła białego na barwy*, str. 256—267.
- Baterye galwaniczne*, str. 67, 72.
- Bezładność elektryczności*, str. 175.
- Bieguny magnetyczne*, str. 33, 36, 88, 90.
- Butelki lejdejskie*, str. 7, 47, 49.
- Ciśnienie osmotyczne*, str. 70.
 — *światła*, str. 337—349.
- Diamagnetyzm*, str. 101—102.
- Drgania elektryczne*, str. 179—180.
- Dyfrakcyja światła*, str. 301, 309—316.
- Elektrodynamiczne zjawiska*, str. 85—92.
- Elektrofor*, str. 49.
- Elektrolity*, str. 69, 122.
- Elektroliza chlorku cynawego*, str. 118—120.
 — *wody*, str. 117, 143.
 — *prawa Faraday'a*, str. 121—123.
- Elektromagnesy*, str. 80, 89, 99, 382, 385, 386.
- Elektromagnetyczna teorya światła*, str. 150, 160—165.
- Elektrometr*, str. 128.
- Elektrony*, str. 18, 19, 93, 169, 398.
- Elektroskop*, str. 49.
- Elektrooptyczne zjawiska*, str. 379—393.
- Elektryczność atmosferyczna*, str. 7—9, 13—17, 19, 41—43, 49,
 — *dodatnia i ujemna*, str. 4—13, 18.
 — *różnego pochodzenia*, str. 99.
 — *zwierzęca*, str. 37, 43—47, 58—62, 71.
 — *teorye elektryczności*, str. 3, 4, 6, 11—13, 18—19, 123—127, 151—156.
- Elektryzowanie przez potarcie*, str. 3.
 — *przez wpływ*, str. 3.

- *przez zetknięcie*, str. 69, 72.
 — *powierzchniowe przewodników*, str. 12, 21, 128.
- Emanacje promieniotwórcze*, str. 525, 526, 527, 528, 529, 530.
- Energia elektryczna*, str. 152.
- Eter wszechświatowy*, str. 103, 273, 301, 303, 355, 356, 357, 360, 361, 362, 370, 388, 424, 435, 440.
- Fale cząstkowe*, str. 234—235.
 — *elektromagnetyczne*, str. 166, 182—196.
 — *światłne*, str. 226—235, 272, 273, 274, 286, 287, 303, 304, 311.
- Fluorescencya i fosforescencya*, str. 405, 407, 408, 411, 426, 430, 431, 435, 444, 447, 448, 479, 480, 504, 505, 526.
- Fotografia barwana*, str. 148.
- Galwanometr*, str. 71, 84.
 — *ballistyczny*, str. 141—142.
- Hel*, str. 518, 519—529.
- Idioelektryczne ciała*, str. 40, 47.
- Indukcyja elektrostatyczna*, str. 107, 123—137, 141, 143.
 — *magnetoelektryczna*, str. 111—117.
 — *właściwa* ob. *Stać dielektryczna*.
 — *wzajemna prądów*, str. 107—111.
- Indukcyjny przyrząd Faraday'a*, str. 129, 133.
- Influencya* ob. *Indukcyja elektrostatyczna*.
- Interferencya fal elektromagnetycznych*, str. 185—189.
 — *promieni Röntgena*, str. 429.
 — *światła*, str. 288, 289—291, 307, 310.
 — *światła spolaryzowanego*, str. 317—319.
- Iskiernik*, str. 181.
- Iskra elektryczna*, str. 3, 7, 179.
- Isolatory*, str. 3.
- Jednostki elektryczne i magnetyczne*, str. 157—160, 163, 170, 172.
- Jony w gazach*, str. 398, 416—417, 451—456, 486, 487.
- Klatka Faraday'a*, str. 128.
- Kondensator*, str. 7, 49.
- Konflikt elektryczny*, str. 76, 81.
- Krzywe magnetyczne*, ob. *Linie sił*.
- Kwarc piezoelektryczny*, str. 483—484.
- Laboratorium im. Cavendish'a*, str. 437, 438, 439.
- Latawiec Franklin'a*, str. 9, 13—14.
- Linie Fraunhofera*, str. 331, 333 — 334.
 — *sił*, str. 102, 103, 115, 126, 130—132, 137.
- Magnesów przyciąganie i odpychanie*, str. 32—34.
- Magnetyczne skrócenie płaszczyzny polaryzacji*, str. 380—384.
 — *rozszczerzenie linii widmowych*, str. 385—390.
- Magnetyzm ziemski*, str. 83, 87—88.
- Magnetyzmu teorye*, str. 88—89, 93.
- Materya promienista*, str. 401—414.
- Mechaniki zasady*, str. 177.
- Metoda wahań*, str. 28—31.
- Minimum odchylenia promieni w pryzmacie*, str. 257.
- Nabój bezwzględny elektryczności*, str. 127, 144.
- Napięcia w dielektryku*, str. 131, 132, 137, 152.
- Natężenie elektryczne*, str. 167.
- Nerwów wrażliwość na bodźce elektryczne*, str. 39, 52—53, 55, 57—58, 71.
- Ogniwa galwaniczne*, str. 49, 66.
 — *koncentracyjne*, str. 70.

- *teorya ogniw*, str. 69—70.
Ostrzy własności, str. 8, 13—14.
Pierścienie ochronne, str. 205, 210.
Piorunochron, str. 8, 14—17, 19,
Pioruny i błyskawice, str. 7, 8,
 14—17.
Płyn indukujący, str. 167.
Polaryzacja dielektryczna, str. 137,
 151—156, 168—169, 213.
 — *światła przy podwójnem załamaniu*, str. 246, 247, 248.
 — *interferencya światła spolaryzowanego*, str. 317 — 319.
Pole magnetyczne, str. 79.
Polon, str. 492, 495.
Prawa Faraday'a, str. 121—123.
 „ *Ohma i Kirchoff'a*, str. 72.
Prawo Coulomb'a, str. 20—35.
Prąd elektryczny: Krążenie wokoło magnesów, str. 96.
 — przyciąganie i odpychanie, str. 85—92.
 — rozgałęzianie, str. 68.
 — wzbudzanie, str. 43 — 46, 51—70.
Prąd graniczny, str. 454, 455, 486.
Prądy indukcyjne, str. 107—117.
 — *konwekcyjne*, str. 103, 166, 169, 197—209.
 — *Röntgen'a*, str. 200, 212 — 215.
 — *samoindukcyjne*, str. 175.
 — *termoelektryczne*, str. 80.
Prążki dyfrakcyi, str. 305—312.
Prędkość światła, str. 163, 172, 351, 354 — 379.
Promienie α , β i γ , str. 500 — 504.
 — *Becquerel'a*, str. 481, 482.
 — *katodowe*, str. 401 — 414, 418, 422—427, 440—450.
 — *Röntgen'a*, 428, 429, 430 — 435, 441—456, 479.
Promieniotwórczość: str. 461, 462, 474, 475, 477 — 510, 513 — 516, 524—529; mierzenie natężenia promieniotwórczości, str. 483—486; minerały promieniotwórcze, str. 489 — 491.
 — *atmosferyczna*, str. 524, 529.
 — *wzbudzona*, str. 509, 510.
Pryzmat: załamanie światła w pryzmacie, str. 253, 257 — 265.
Przesunięcie elektryczne, str. 153—156, 167.
Przewodnictwo pod wpływem promieni Röntgen'a, str. 398, 451—456.
Przewodniki, str. 3, 15, 68.
 — *niejednorodne*, str. 59—62.
Rad, świecenie pod wpływem soli radu, str. 504, 505.
Radu odkrycie, str. 478, 492, 493,
 — *otrzymywanie*, str. 496 — 498.
 — *skutki fizyologiczne*, str. 507, 508.
 — *widmo*, str. 494, 495.
Radiologiczna pracownia, str. 464.
Radiometryczne siły, str. 343, 344, 349.
Równania Maxwell'a, str. 162—163.
Równoważniki elektrochemiczne, str. 123.
Rozszczepienie linii widmowych, str. 385—390.
 — *światła białego na barwy*, str. 256—267.
Samoindukcyja, str. 100, 175.
Sód: linie widmowe, str. 331—332.
Siły elektryczne, str. 3, 20 — 31, 37 — 48.
 — *magnetyczne*, str. 32—34.
Solenoidy, str. 88—90, 92.
Spat islandzki, str. 235—237.

- Spektroskop*, str. 328.
Spektroskopia ob. *Analiza widmowa*.
Spółczynnik załamania, str. 164 — 165, 172.
Stała dielektryczna, str. 132—136, 144, 146, 164, 172.
Stos Volty, str. 62—65.
Stosunek jednostek elektrostatycznych do elektromagnetycznych, str. 157 — 160, 163, 172, 208.
 — ładunku elektronów do ich masy, str. 418, 419, 446, 447, 448, 449.
Szereg Volty, str. 49, 59.
Telegraf elektryczny, str. 83, 170.
 — iskrowy, str. 196.
Teoria barw, str. 148.
 — elektryczności: *Franklina*, str. 6—7, 11—13, 18.
 — *Symmera*, str. 19.
 — *Maxwell'a*, str. 151 — 156.
 — *ogniów galwanicznych*, str. 69, 70.
 — *magnetyzmu* str. 88—89, 93.
 — *światła: elektromagnetyczna*, str. 150, 160—165, 195.
 — *emisyjna*, str. 276 — 277, 301—312.
 — — *falowa*, str. 228 — 235, 272 — 275, 301—312.
Tor: jego promieniotwórczość, str. 481—491.
Uran: jego promieniotwórczość, str. 481—491.
Waga Coulomb'a, str. 20—25, 32—33, 35, 128.
Woltametr, str. 118, 142.
Wpływ ruchu ciała na zjawiska optyczne, str. 350—376.
Załamanie światła: nadzwyczajne, str. 241, 242.
 — *podwójne*, str. 237—248.
 — *zwyczajne*, str. 241, 242.
Zasada druga termodynamiki (w związku z promieniowaniem), str. 338—341.
 — *względności*, str. 353, 354, 369—376.
 — *zachowania energii*, str. 101.
Zdolność magnetyczna, str. 102.
Zjawisko fotoelektryczne, str. 176.
 „ *Kerr'a*, str. 101, 379, 392.
 „ *Zeeman'a*, str. 104, 385—390.

WAŻNIEJSZE BŁĘDY DOSTRZEŻONE:

Str.	Wiersz	Wydrukowano	Powinno być
44	14	rezultat ten sam	rezultat był ten sam
225	5	...prostowaniu się	...rozchodzeniu się
368	3	$2 D \frac{v^2}{v^2}$	$2 D \frac{v^2}{V^2}$

SPIS RZECZY.

ELEKTRYCZNOŚĆ I MAGNETYZM.

opracował Dr W. Werner.

	<i>Str.</i>
Wstęp	3
<i>Benjamin Franklin.</i> Życiorys	5
Z „Doświadczeń i obserwacji nad elektrycznością, dokonanych w Filadelfii w Ameryce“	11
Uwagi	18
<i>Karol August Coulomb.</i> Życiorys	20
Rozprawa pierwsza o elektryczności i magnetyzmie	22
Rozprawa druga o elektryczności i magnetyzmie	28
Uwagi	35
<i>Ludwik Aloizy Galvani.</i> Życiorys	37
O siłach elektryczności przy ruchach mięśniowych	38
Uwagi	47
<i>Aleksander Volta.</i> Życiorys	49
O pewnych odkryciach Galvani'ego z Bolonii wraz z doświadcze- niami i uwagami	51
O elektryczności, wzbudzanej jedynie przez zetknięcie różnych rodzajów substancji przewodzących.	62
Uwagi	71
<i>Jan Christian Oersted.</i> Życiorys	73
Doświadczenia nad działaniem konfliktu elektrycznego na igłę magnetyczną	75
Uwagi	81
<i>Andrzej Marya Ampère.</i> Życiorys	82
Wykład metodyczny zjawisk elektrodynamicznych i praw, rządzą- cych temi zjawiskami	85
Uwagi	90
<i>Michał Faraday.</i> Życiorys	94
Badania doświadczalne nad elektrycznością: Odkrycie prądów indukcyjnych	107

	<i>Str.</i>
Prawa elektrolizy	117
O indukcji.	123
O metodzie Faraday'a (przez <i>J. C. Maxwell'a</i>)	138
Uwagi	141
<i>James Clerk Maxwell.</i> Życiorys	147
Wyjątki z „Elektryczności i Magnetyzmu“:	
a) Plan dzieła (o polaryzacji elektrycznej)	151
b) Porównanie jednostek elektrostatycznych i elektromagnetycznych	157
c) Teorya elektromagnetyczna światła	160
Uwagi.	167
<i>Henryk Rudolf Hertz.</i> Życiorys	174
Badania nad rozchodzeniem się siły elektrycznej	179
O falach elektrodinamicznych w powietrzu i o ich odbiciu	182
O promieniach siły elektrycznej	189
Uwagi	196
<i>Eichenwald.</i> Prądy konwekcyjne	197
Uwagi	202
<i>Henryk August Rowland.</i> Życiorys	203
<i>H. A. Rowland i C. T. Hutchinson.</i> O działaniu elektromagnetycznym prądów konwekcyjnych	204
Uwagi	210
<i>Wilhelm Konrad Röntgen.</i> O sile elektrodinamicznej, wywołanej ruchem dielektryku, umieszczonego w polu elektrycznym jednostajnym	212
Uwagi	215

O P T Y K A,

opracował *St. Landau.*

<i>Chrystyan Huygens.</i> Życiorys	219
Traktat o świetle, gdzie wyjaśnione są przyczyny zjawisk, zachodzących przy jego odbiciu i załamaniu, a w szczególności przy osobliwym załamaniu kryształu Islandzkiego	225
Uwagi	248
<i>Izaak Newton.</i> Optyka czyli rozprawa o światła odbiciach, załamaniach, uginaniu i barwach	252
Uwagi	278
<i>Tomasz Young.</i> Życiorys	282
O teorii światła i barw	284
Doświadczenia i obliczenia, dotyczące optyki fizycznej	289
Uwagi	291
<i>Augustyn Fresnel.</i> Życiorys	294
Rozprawa o dyfrakcji światła	301

	Str.
Obliczenie natężenia światła w środku cienia ekranu i okrągłego otworu, oświetlonych przez punkt promieniujący	312
<i>Arago i Fresnel.</i> Rozprawa o wzajemnem oddziaływaniu promieni światła spolaryzowanego	317
Uwagi	320
<i>Gustaw Kirchhoff i Robert Bunsen.</i> Życiorysy	325
Analiza chemiczna na drodze spostrzeżeń widmowych	327
Uwagi	336
<i>O ciśnieniu światła.</i>	337
<i>Ludwik Boltzmann.</i> O odkrytym przez P. Bartoli'ego stosunku pomiędzy ciepłem promienistym a drugą zasadą	338
<i>Piotr Lebediew,</i> Badania nad siłami ciśnienia światła	341
Uwagi	348
<i>O wpływie ruchu ciał na zjawiska świetlne</i>	350
<i>H. Fizeau.</i> O hipotezach, dotyczących eteru świetlnego, i o doświadczeniu, które zdaje się dowodzić, że ruch ciał zmienia prędkość, z jaką światło rozchodzi się wewnątrz nich	355
<i>Albert A. Michelson i Edward W. Morley.</i> O ruchu względnym ziemi i eteru światłonośnego	360
<i>A. Einstein.</i> W sprawie elektrodynamiki ciał poruszających się	369
Uwagi	376
<i>O zjawiskach elektrooptycznych</i>	379
<i>Michał Faraday.</i> O magnesowaniu światła i o oświetleniu linii sił magnetycznych	380
<i>P. Zeeman.</i> O wpływie magnetyzmu na naturę światła wysyłanego przez daną substancję	385
Uwagi	391

JONY I ELEKTRONY.

(O budowie materji i o strukturze elektryczności),
opracował St. Landau.

Wstęp	397
<i>William Crookes.</i> Życiorys	399
O materji promienistej	401
<i>Artur Schuster.</i> Wyładowanie elektryczności poprzez gazy	415
<i>Filip Lenard.</i> O promieniach katodowych w gazach, będących pod ciśnieniem atmosferycznym i w próżni jak najdalej posuniętej	422
<i>W. K. Röntgen.</i> Życiorys	428
O nowym rodzaju promieni	430
<i>J. J. Thomson.</i> Życiorys	436
Promienie katodowe	440
<i>J. J. Thomson i E. Rutherford.</i> O przechodzeniu elektryczności przez gazy, wystawione na działanie promieni Röntgen'a	451
Uwagi	457



	<i>Str.</i>
<i>Promieniotwórczość</i>	461
<i>Marya Skłodowska-Curie. Życiorys</i>	463
Przedmowa do dzieł Piotra Curie	465
Badanie ciał radioaktywnych	477
Uwagi	511
<i>E. Rutherford i F. Soddy. Przemiana promieniotwórcza</i>	513
Uwagi	517
O odkryciu helu	518
<i>William Ramsay. Hel</i>	519
Uwagi	523
<i>William Ramsay i F. Soddy. Doświadczenia w dziedzinie promieniotwórczości i wytwarzanie przez rad helu</i>	524
Uwagi	529
Skorowidz nazwisk	531
Skorowidz rzeczy	537
Ważniejsze błędy dostrzeżone	540

