

NORMAN R. CAMPBELL

ZASADY
ELEKTRYCZNOŚCI
(JAKO PRZYKŁAD DO METODOLOGII)

PRZEŁOŻYŁ I UWAGAMI OPATRZYŁ
LUDWIK SILBERSTEIN

W A R S Z A W A 1913

NAKŁADEM KSIĘGARNI E. WENDE I SP. - LWÓW:
H. ALTENBERG, G. SEYFARTH, E. WENDE I SKA.

ZASADY ELEKTRYCZNOŚCI

BIBLIOTEKA NAUKOWA WENDEGO.

REDAKTORZY:

FRANCISZEK PUŁASKI

SEKRETARZ GENERALNY WARSZAW-
SKIEGO TOWARZYSTWA NAUKOWEGO.

I

LUDWIK SILBERSTEIN

Dr. FIL., DÓCENT FIZYKI MATEM. W UNIWERSYTECIE RZYMSKIM,
LECTURER NA LATA 1912-14 W UNIVERSITY COLLEGE W LONDYNIE.



NORMAN R. CAMPBELL

ZASADY ELEKTRYCZNOŚCI

(JAKO PRZYKŁAD DO METODOLOGII)



141 454

OD REDAKCYI I TŁUMACZA.

Do krótkiego tytułu oryginalnego „The principles of Electricity“ książeczki Campbella, wydanej w zbiorze popularnym „The People's Books“ (Londyn, T. C. & E. C. Jack) uważaliśmy za stosowne dodać w charakterze objaśnienia: „jako przykład do Metodologii“, gdyż temu właśnie odpowiada główny cel książki. Wspomina też o tem sam autor w swej krótkiej przedmowie, którą poniżej dajemy w przekładzie dosłownym. Tekst cały z nieistotnymi wyjątkami również podaliśmy w przekładzie możliwie dosłownym. Oprócz przypisków wyraźnie zaznaczonych dodał też tłumacz tu i ówdzie po kilka słów w tekście; te ujęte są w nawiasy prostokątne [].

Dodatek dwustronicowy umieszczony na końcu oryginału pod tyt. „Bibliografia“, a mający (li tylko na żądanie wydawców angielskich) zawierać wskazówki do dalszego czytania, względnie do studyów głębszych, nie odpowiadałby zgoła naszym warunkom. Dlatego też uważaliśmy za stosowne opuścić go, tembardziej, że i sam autor żadnej niemal nie przypisuje mu wartości.

Londyn, w maju 1913.

PRZEDMOWA AUTORA.

Książeczka ta ma być próbą ilustracyi, na zasadniczych prawach i teoryach elektrycznych, niektórych najważniejszych zasad wszelkiego wogóle dociekania naukowego. Przeznaczona jest dla czytelnika interesującego się kwestyami ogólnemi; nie wymaga od niego żadnej znajomości dotyczących faktów, lecz wymaga za to czujnej uwagi i starannego myślenia; nie ma ona dostarczyć lekkiej pół-godzinnej lektury, lecz ma zadowolić pewne potrzeby tych, którzy rzeczywiście łakną wiedzy.

W tomiku o tak małej objętości, a celach tak szerokich niewiele można poświęcić miejsca szczegółom. Mam nadzieję, że żaden z wyłożonych w nim poglądów nie sprowadzi czytelnika na manowce w jakiejkolwiek ważnej kwestyi; zgoła wszakże nie kuśiłem się o ścisłość drobiazgową, niezbędną w podręcznikach. Nie szczędziłem natomiast trudu, aby uniknąć wszelkich dwuznaczności wysłowienia lub pomieszanja pojęć.

T R E Ś Ć.

Rozdz.	Str.
I. Prawa i teoria elektrostatyki	1
II. Pomiary elektrostacyjne	37
III. Elektromagnetyzm	61
IV. Teoria Faraday'a	87
V. Teoria Maxwella	115

ROZDZIAŁ I.

Prawa i teoria elektrostatyki.

1. „Co to jest elektryczność?” — Nikomu chyba, kto poświęcił więcej trochę czasu studyom fizyki, nie jest obce pytanie, stawiane zazwyczaj przez ludzi stojących zdala od nauki. „Co to jest elektryczność?” — pytają oni, a gdy zagadnięty nie umie oczywiście dać im odpowiedzi prostej i zupełnie bezpośredniej, jakiej oczekują, natenczas starają się mniej lub więcej grzecznie ukryć swe mniemanie, iż koniec końcem wie on o nauce niewiele więcej od nich. Istotnie jednak postawienie takiego pytania raczej, niż niezdolność udzielenia na nie odpowiedzi, zdradza nieuctwo; im więcej ktoś wie, tem trudniejszą wyda mu się odpowiedź na to pytanie, tem lepiej bowiem uprzytomni sobie, że w tej formie nie można wcale na nie odpowiedzieć. Pomimo to pytający w ten sposób oczekuje prawdopodobnie od zagadniętego specjalisty pewnej informacji, którą istotnie otrzymać może bez uprzednich nawet głębszych studyów. Dziełko to ma być próbą udzielenia

mu takiej właśnie odpowiedzi. Ponieważ atoli pierwotne jego pytanie dowodzi nietylko, że jest on po prostu nieukiem, lecz że ma o nauce pewne z góry urobione, a wręcz błędne pojęcia, przeto możnaby się obawiać, że gdybym, jak w podręczniku, zaczął odrazu od wykładu tych pojęć, które uczeni urobili sobie dla traktowania zjawisk elektrycznych, zrozumiałby on niewłaściwie wiele z mych zdań, a to utwierdziłoby go jeszcze w wielu pojęciach błędnych. Wobec tego więc dobrze będzie nasamprzód wyjaśnić krótko, czem wogóle jest nauka, jakiego rodzaju zajmuje się badaniami i jakie daje odpowiedzi. Po takim jedynie wstępie wyłożyć można naszemu imaginacyjnemu interlokutorowi jakąkolwiek specjalną gałąź nauki z niejakim dla niego pożytkiem.

2. **Podstawy nauki.** — Zwykły podręcznik „elektryczności“ rozpocząłby się od takich, mniej więcej, słów: „Grecy już zauważyli, że kawałek bursztynu potarty ręką, nabywa własności przyciągania lekkich ciał poblizkich“. A to właśnie stwierdzenie osobliwych własności bursztynu znakomitą odda nam usługę, jako przykład jednej z ważniejszych klas sądów lub twierdzeń naukowych, któremi zająć się nam wypadnie.

Zauważmy przedewszystkiem, że zdanie powyżej przytoczone mówi nam, że coś zauważono czyli dostrzeżono; w tym przypadku dostrzeżenia, o których mowa, są tak proste, iż zdawałoby się, że nie warto nawet istoty ich dalej analizować; lecz po pewnem zastanowieniu przekonamy się, że nie są znowu tak proste, jakimi wydają się na pierwszy rzut oka. Sceptyk jakiś mógłby nas przedewszystkiem zapytać, co rozumiemy przez „bursztyn“. Odpowiedź na to nietrudna; „bursztyn“ — powiedzielibyśmy — „jest to żółta, krucha, twarda substancya, znajdująwana niedaleko morza, i tak dalej“. Zapyta on nas wówczas, co znaczy „żółta“, „krucha“ i „twarda“. Możemy mu łatwo powiedzieć, co rozumiemy przez „kruchą“, mianowicie, że jeżeli substancję taką uderzymy młotkiem, nie spłaszczy się, lecz połamie na kawałki. Nieco tylko trudniej będzie objaśnić znaczenie „twardej“; rozumiemy przez to, że biorąc bursztyn między dwa palce, nie będziemy mogli zetknąć ich ze sobą, że starając się zbliżyć je do siebie, doznamy znacznego oporu. Lecz gdy sceptyk ów zapyta nas, co rozumiemy przez „żółtą“, nie będziemy mogli żadnej zgoła dać mu odpowiedzi; czujemy, że jeżeli nie wie on, co to jest „żółty“, nie możemy niczego dla oświecenia go uczynić, gdybyśmy nawet słowo to na wszelkie istniejące

przetłumaczyli języki. Jeżeli jednak zgodzi się on na „żółtą“, możemy dalej z nim rozmawiać, odpowiadając nie bez pożytku, na dalsze jego nalegania. Może nas zapytać np., co rozumiemy przez „młotek“ i przez „łamanie się“. Wypadnie nam wówczas zastanowić się znowu, czy są to pojęcia dopuszczające dalsze wyjaśnienia, czy też, podobnie jak „żółta“, są tak proste, iż nie dopuszczają już żadnej dalszej analizy. W ten to sposób rozmowa nasza toczyć się może nadal, aż nie wy dostał z nas wszelkich wyjaśnień, które czujemy, iż dać mu możemy; zmusiłby nas tedy do zanalizowania pierwotnego naszego orzeczenia na mnóstwo innych, a tych na inne znowu, aż doszlibyśmy do tak prostych, iż nie dałyby się już wyjaśnić.

3. Prawa. — Ktokolwiek podjąłby się zupełnego przeprowadzenia takiego procesu analizy, rychło porzuciłby musiał swe mniemanie, iż pierwotne orzeczenie było doskonale proste; przekonałby się raczej, że zawarte w niem pojęcia są nadzwyczaj zawiłe. Oto jest jeden z punktów, które chciałem na przykładzie powyższym ilustrować. Do drugiego punktu nie tak już łatwo dotrzeć; nie możnaby wyłuszczyć go całkowicie, nie przeprowadzając całej analizy od początku do końca,— to zaś byłoby nie-

słychanie trudnem zadaniem. Punkt ten dotyczy istoty ostatecznych orzeczeń i ostatecznych pojęć, do których dotarlibyśmy przez podobną analizę, takich mianowicie, które (podobnie jak „żółty“) nie dają się już wyjaśnić czyli rozłożyć na prostsze. Według powszechnego obecnie mniemania, gdyby tylko analiza taka dała się wykonać, wszystkie ostateczne orzeczenia byłyby, podobnie jak „to jest żółte“, orzeczeniami lub (w języku logiki) sądami dotyczącymi czuć, t. j. orzekałyby, że to lub owo jest nam znane bezpośrednio przez narządy zmysłowe, że np. widzimy jakąś barwę, lub słyszymy dźwięk, lub też czujemy wysiłek mięśniowy. Oczywiście, że takie przynajmniej orzeczenia są ostatecznymi i nie dopuszczają dalszego wyjaśnienia; niepodobna wyjaśnić komuś, co rozumiemy, mówiąc, że słyszymy wysoką nutę lub usiłujemy wyprężyć ramię, zupełnie tak samo, jak, że widzimy coś żółtego.

Taki więc sąd naukowy, jaki przytoczyliśmy dla przykładu, jest złożonem zbiorowiskiem sądów prostych o zjawianiu się czuć; można go rozłożyć na szereg takich sądów lub orzeczeń prostych, a ocena jego prawdziwości lub błędności opierać się będzie na prawdziwości lub błędności tych jego prostych składników. Wniosek ten dobrze jest znany każdemu, kto przyswoił

sobie współczesny kierunek zapatrywań na zasady wiedzy naukowej; przykład nasz jest tem, co zazwyczaj nazywa się „prawem“ naukowem; otóż „prawo“ częstokroć już określano jako opis następstwa czuć. Zaznaczyć tu należy, że wyraz „następstwo“ oddaje pewną cechę prawa, która dla obecnych naszych celów drugorzędne tylko posiada znaczenie, chociaż nie powinniśmy jej zupełnie przeoczyć.

4. **Istota praw.** — Twierdzenie powyższe o bursztynie potartym, jest wprawdzie zbiorem prostych orzeczeń o zjawianiu się czuć, lecz nie samym tylko zbiorem; orzeczenia te są ugrupowane w pewnym porządku, a twierdzenie całe głosi pewne zachodzące między niemi związki. Orzeczenie, że „bursztyn został potarty“, stanowi jedną część tego zbioru, a to, że „bursztyn przyciąga lekkie ciała“ — drugą; całość nietylko stwierdza poprostu obie te części, każdą z osobna, lecz orzeka, że zachodzi między niemi pewien związek, mianowicie, że czucia reprezentowane przez pierwszą część, poprzedzały czucia zawarte w drugiej części: bursztyn przyciąga po natarciu go. Ten rodzaj związku między orzeczeniami składowemi (prostemi), przy którym jedna grupa czuć występuje przed drugą, w czasie, najbardziej zwrócił na się uwagę auto-

rów, którzy pisali o filozofii nauki, a nazwa „prawo“ ogranicza się zazwyczaj do twierdzeń, w których ten właśnie związek wyraźnie się przebija.

Lecz nie jest to bynajmniej jedyny rodzaj związku, głoszonego przez twierdzenia naukowe. To już samo np., że „bursztyn potarto“, opiera się na założeniu, że istnieje coś podobnego do bursztynu, a to, jak widzieliśmy, znaczy, że jest jakaś rzecz żółta a jednocześnie twarda, krucha i znajdywana blisko wybrzeży morskich. To zaś orzeczenie z kolei rozłożyć się daje na orzeczenia częściowe, jako to: że istnieje coś twardego, że istnieje coś kruchego itd. Tu jednak związek między orzeczeniami częściowymi, głoszony przez orzeczenie całkowite, nie polega już na tem, że jedna grupa czuć następuje w czasie po drugiej; pewną substancję nazywamy bursztynem, jeżeli spostrzeżemy naprzód, że jest twardą, a później, że jest kruchą i t. d., lub też, jeżeli spostrzeżenia te uczynimy w jakimkolwiek innym porządku. W tym więc przypadku następstwo w czasie zgoła w grę nie wchodzi — a przykłady takie na każdym spotykamy kroku.

☞ Wobec tego, wszelkie usiłowania ograniczenia terminu „prawo“ do takich twierdzeń, w których chodzi o następstwo grup czucio-

wych w czasie, byłyby zawodne i sztuczne; to też w ciągu dalszym stosować będziemy słowo to jednak do jakichkolwiek twierdzeń, głoszących ten lub ów związek ogólny między zjawianiem się czuć. „Prawami“ będą tedy dla nas nie tylko takie twierdzenia, jak to, że gdy potrzebny bursztyn, będzie on przyciągał lekkie ciała, lecz również takie np. jak to, że są takie substancje jak bursztyn, który jest żółtym jednocześnie, i kruchym, i twardym i t. d.

Możemy na teraz zakończyć ogólne te rozważania co do istoty twierdzeń naukowych i zająć się nieco bliżej ową szczególną klasą twierdzeń, na którą wskazuje tytuł niniejszej książeczki.

5. Prawa elektrostatyki.— Fakty, które mamy tu przytoczyć, znane są dobrze każdemu, kto otworzył kiedykolwiek jakiś podręcznik elektryczności lub słyszał o przedmiocie tym odczyt popularny; pomimo to musimy tu, w celu dalszej naszej dyskusji, skreślić je, dość starannie nawet. Można wcielić je w następujące twierdzenia, które stanowią główne prawa, na jakich opiera się nauka o elektryczności.

Jeżeli kilka kawałków szkła potrzebny odpowiednią liczbą kawałków tkaniny jedwabiu,

nabędą one, przy należytych warunkach*, następujących własności:

(1) Kawałek szkła i kawałek jedwabiu przyciągają się wzajemnie.

(2) Dwa kawałki jedwabiu lub dwa kawałki szkła odpychają się wzajemnie.

(3) Każdy kawałek szkła lub jedwabiu przyciąga wszelkie inne ciała, z którymi się nie zetknął. We wszystkich tych przypadkach przyciąganie lub odpychanie jest tem słabsze, im większa jest odległość między przyciągającymi lub odpychającymi się ciałami.

(4) Trzecie ciało, które było w zetknięciu z jednym z naszych kawałków szkła lub jedwabiu, nabywa w pewnym stopniu własności (1), (2), (3) tegoż szkła, względnie jedwabiu. Szkło zaś lub jedwab, z którymi owo trzecie ciało się zetknęło, traci w pewnej mierze owe własności, t. j. przyciąga lub odpycha z mniejszą siłą niż przedtem.

(5) Własności te uzyskać może ciało trzecie nie tylko przez zetknięcie się bezpośrednio ze szkłem lub jedwabiem, lecz również, jeżeli połączymy je z niemi sztabką lub drutem z pewnej (lecz nie każdej) substancyi. Ze względu na sku-

* Powierzchnia szkła np. powinna być sucha, podobnie jak jedwab i t. d.

tek ten substancje podzielić można, z gruba, na dwie klasy: (A) substancje, — pośród których metale najwybitniejsze zajmują miejsce, ~~przenoszące~~ własności potartego szkła (lub jedwabiu) na trzecie ciało, skoro stykają się z obojgiem; (B) substancje, a szczególnie wszystkie niemal stałe, oprócz metali, które w warunkach tych nie przenoszą owych własności.

(6) Ciała klasy (A), lecz nie klasy (B), mogą nabyć własności szkła lub jedwabiu w inny jeszcze sposób, nie wymagający ich zetknięcia ze szkłem lub jedwabiem. Jeżeli szkło zbliżymy do jednego końca ciała klasy (A), drugi zaś koniec dotkniemy na chwilę ręką, a następnie usuniemy szkło na znaczną odległość, przekonamy się, że ciało to nabyło w pewnej mierze własności potartego jedwabiu. Twierdzenie to pozostanie prawdziwem, jeżeli zastąpimy w niem wszędzie „szkło“ przez „jedwab“ i odwrotnie.

Oto są (wyrażone bez nieistotnych komplikacji) fakty, z dostrzeżenia których wyrosła nauka o elektryczności. Dogodnie będzie, dla krótkości jedynie, wprowadzić tu kilka terminów technicznych, prawdopodobnie zresztą dobrze już znanych czytelnikowi. O szkłe lub jedwabiu, które dzięki potarciu nabyły własności (1), (2), (3), powiadamy, że są „naładowane“; ciała klasy (A), nazywają się „przewodnikami“, zaś klasy

(B) „nieprzewodnikami“ lub „izolatorami“; sposób ładowania ciała (przewodnika) opisany pod (6), nazywa się „ładowaniem przez indukcję“.

Nie są to oczywiście wszystkie jeszcze prawa, które dzięki badaniu zjawisk takich odkryto. Nietylko znamy wiele innych praw tegoż rodzaju, co przytoczone przed chwilą, tj. opisujących podobne własności innych ciał wzajemnie potartych (oprócz szkła i jedwabiu), — lecz odkryto również wiele praw innego zupełnie rodzaju. Tak np., czytelnik wie prawdopodobnie, że w nauce elektrycznej ważną odgrywają rolę pomiary i że w dziedzinie tej sformułować się dały prawa ilościowe, a nietylko jakościowe, jak powyższe; wiemy nietylko, że siła wzajemnego przyciągania się dwóch ciał naładowanych maleje, gdy odległość ich rośnie, lecz również, że zachodzi między siłą tą a odległością pewien określony związek liczebny. Na takie to prawa ilościowe zwrócimy teraz naszą uwagę; te, o których powyżej była mowa, różnią się od nich zarówno co do pochodzenia jak co do istoty swej, a ważną jest bardzo rzeczą, abyśmy uprzytomnili sobie to odróżnienie, zanim posuniemy się dalej. Prawa przytoczone w poprzednim paragrafie były jedynymi, które odkryto na drodze czystego eksperymentu i obserwacyi, stanowiących według

zwykłych poglądów źródło wszystkich praw; owe inne natomiast prawa (ilościowe), odkryto dopiero wówczas, gdy nastąpił pewien nowy rozwój w badaniu tych zjawisk, o którym dotychczas nie wspomnieliśmy jeszcze.

6. **Dalszy rozwój.** — Można zapatrywać się nań z dwóch zupełnie różnych stron. Z jednego punktu widzenia polega on na ustanowieniu związków między odkrytymi już prawami. Widzielśmy, że prawo jest opisem czuć, składających się na obserwacye; proces ustanowienia prawa polega na znalezieniu jedyne go krótkiego i zwięzłego sądu, łączącego w sobie wszystkie orzeczenia ostateczne, proste, o występowaniu czuć; skoro zaś prawo zostało już ustanowione, można zeń wszystkie owe proste orzeczenia wyprowadzić (dedukcyjnie). Tak np. ze sądu ogólnego, orzekającego, że „szkło i jedwab po potarciu, przyciągają się wzajemnie“, możemy wyprowadzić sąd, że ten lub ów kawałek szkła przyciągnie dany kawałek jedwabiu, którym je potarto; dalej, możemy wywnioskować też stąd dedukcyjnie (jak już wspomniałem poprzednio), że istnieje pewna substancja twarda, przezroczysta itd., — gdyby bowiem nie istniało nic podobnego do szkła, orzeczenie o tem, co się stało, skoro je potarto,

nie miałyby oczywiście żadnego sensu. Ustanawianie czyli formułowanie praw odbywa się w ten sposób, iż znajdujemy pewne związki między ostatecznymi orzeczeniami o dostrzeżeniach; a mając już prawo, które związki takie wyraża, możemy zeń wyprowadzić szczególne dostrzeżenia.

Lecz dokąd, zapytać można, doprowadzi nas ten proces budowania praw. Czy możemy ostatecznie dojść do jednego prawa, które łączyć będzie w sobie wszystkie poczynione dostrzeżenia i z którego wszystkie one dadzą się wyprowadzić, czy też dotarłszy do kilku praw, niezbędnych dla opisu wszystkich dostrzeżeń, przekonamy się, że uproszczenie, (tj. kondensacya) opisu nie da się już dalej posunąć? Rozstrzygnięcie zupełne tego pytania, wymagałoby zbyt wiele miejsca i zbyt głębokich dociekań, abyśmy je tu dać mogli; zdaniem mojem jednak nie ulega żadnej wątpliwości, że uproszczenie zupełne, t. j. skupienie opisu wszystkich obserwacyi w jedno jedyne orzeczenie, nie daje się skutecznić, jeżeli orzeczenie to ma być prawem. Liczbę praw możemy zredukować nieco jeszcze; możemy np. połączyć (5) i (6) w jedno prawo, mówiąc, że te tylko ciała, które mogą przenosić (przewodzić) własności ciała naładowanego, dają się łado-

wać przez indukcję; skoro jednak wykonamy wszystkie możliwe połączenia tego rodzaju, pozostanie nam przecież jeszcze kilka różnych praw, między którymi żaden związek przeprowadzić się wprost nie da.

Chociaż jednak połączenie wszystkich praw w jedno prawo jest niemożliwe, mogłyby one przecież dać się połączyć w jedno orzeczenie, które nie będzie prawem lecz twierdzeniem innego jakiegoś rodzaju. Istotnie, dalszy krok taki jest możliwy i posiada też w dziedzinie badania naukowego jak najdonioślejsze znaczenie; o tej to fazie rozwoju mówić obecnie zamierzamy. Dotychczas jednak nie posiadamy jeszcze żadnych wskazówek co do rodzaju twierdzenia, które odpowiadałoby temu celowi; ogólne zaś zadanie znalezienia takiego twierdzenia, które objęłoby pewną grupę innych, jest zgoła nieokreślone, dopóki nie poznamy bliżej nieco samej jego istoty.

7. **Cel nauki.** — Poco wogóle zajmują się ludzie nauką? Jakiż jest cel wszystkich tych usiłowań uproszczenia opisu czuć? W jakim celu pragniemy chociażby opisać tylko nasze dostrzeżenia i czucia? Możemy tu pominąć zupełnie odpowiedź, głoszącą, że naukę uprawia się z powodów użytecznych, t. j. dlatego, że

pomaga nam to w pewnej mierze kontrolować uczucia, których doznajemy, tem samym zaś służy naszej wygodzie cielesnej. Naturalnie, że nie brak ludzi, którzy z tego właśnie powodu zajmują się pewnemi gałęziami nauki; nie takie jednak względy dały pochop do wywodów i postępu czystej nauki, a tu właśnie obchodzi nas nauka najczystsza i najbardziej oderwana. Adept czystej nauki oddaje się swym dociekaniom poprostu dlatego, że pożąda wiedzy, dlatego, że wyniki jego pracy, o ile są pomyślne, dostarczają mu pewnej niewysłowionej rozkoszy intelektualnej, podobnej do tej, którą inni czerpią z lektury utworów literackich lub oglądania obrazów; nie szuka on rozkoszy cielesnej, lecz duchowej.

Stara się zaś posunąć naukę poza formułowanie praw, te bowiem, jeżeli je nawet znalazł, nie dają mu owego zadowolenia intelektualnego, którego szuka; nie może przyjąć ich chętnie, jako końca swych trudów. Nie można zgoła powiedzieć, dla czego nie zadawania się on prawami, zupełnie tak samo, jak nie można podać żadnego ostatecznego powodu dla upodobań artystycznych, — a na szczęście też niema po temu żadnej potrzeby. Przypuszczam bowiem, że czytelnik mój jest zwykłym człowiekiem (the plain man), a nikt

nie odczuwa silniej od takiego człowieka niezadowolniającego charakteru praw, jako ostatecznych wyników nauki. Powołam się najlepiej na własne jego doświadczenie. Gdybyśmy mały nasz wykład w tem miejscu zakończyli, dając czytelnikowi jako ostateczny wynik naukowy, osiągnięty w tak rozległej dziedzinie, same tylko prawa przytoczone w paragrafie 5-ym, sądzę, że nie tylko uważałby on je za rezultaty nadzwyczaj wątle (chude), lecz, że nie zadowolniłyby go one już ze względu na samą swą istotę. Naturalny jego instynkt (chyba, że uległ perwersyi dzięki błędnym napomnieniom pewnych ludzi, po których możnaby się czegoś lepszego spodziewać), pchałby go do pytania: „dlaczego?” — „Wszystko to (tj. prawa wygłoszone) jest bardzo ładne” — powiedziałby mój czytelnik, — „lecz spodziewałem się, że dowiem się np., dlaczego ciała naładowane mogą przyciągać nienaładowane, lub dlaczego same tylko przewodniki dają się ładować przez indukcję”. Dając posłuch takim właśnie podszeptom instynktownym, doszli uczeni do największych swych odkryć.

Pytanie atoli, wyrażone w postaci „dlaczego?” — nie oświeca nas bardzo co do rodzaju oczekiwanej na nie odpowiedzi. Istotnie, po małym zastanowieniu przekonamy się, że żadna

forma odpowiedzi, udzielanej w zwykłej rozmowie na tak rozpoczynające się pytanie, nie daje się zastosować do jakiegokolwiek pytania dotyczącego praw odkrytych przez obserwację i eksperyment. Czasami jednak żądanie dalszej informacyi przybiera inną postać; interlokutor nasz powiada mianowicie, że chciałby, aby „wyjaśniono“ mu, lub „wytłumaczono“ owe prawa. Lecz i tu jeszcze panuje pewna mglistość; „wyjaśnienia“ bowiem mogą być najróżnorodniejsze, z tych zaś większość nie jest w przypadku naszym stosowalna. Wszystkie atoli istotne wyjaśnienia jedną posiadają cechę wspólną: zastępują treść wyjaśnianą, obcą nam stosunkowo, przez pewne obrazy, pojęcia lub słowa, z którymi bardziej jesteśmy oswojeni. A tego to właśnie rodzaju wyjaśnienie jest pożądanę, i do takiego też powadzi nas ów dalszy krok w nauce, o którym jest mowa.

Krok ten nowy polega więc na podstawieniu za odkryte nasze prawa pewnego twierdzenia lub kilku twierdzeń, które nie będą prawami. Nowe zaś te twierdzenia odpowiadać muszą dwom następującym wymaganiom; po pierwsze, powinny one obejmować w sobie prawa, podobnie jak te łączą w sobie poszczególne obserwacye, tak, aby — odwrotnie — można było wyprowadzić z nich wszystkie nasze prawa;

po drugie zaś mają być takie, aby dały nam owo zadowolenie duchowe, którego prawa dać nam nie mogą, w tym zaś celu będą musiały zawierać pojęcia bliższe dla nas od tych, które występują w samych prawach.

Lecz i z tem nawet bliższem określeniem problematu, nie można go oczywiście rozwiązać „od ręki“; niema po temu żadnej metody, jak np. dla rozwiązywania zadań arytmetycznych. Daremnie też byłoby poświęcać czas i miejsce na rozważanie różnych możliwości. To też zwrócimy się odrazu ku temu wyjaśnieniu, które w dziejach nauki dano istotnie. Nie przeczę wprawdzie, że mogą być inne wyjaśnienia, również dobrze spełniające powyższe dwa wymagania, lecz nie do nas należy ich dyskusya. Nie powinniśmy stracić z oczu pytania, od którego zaczęliśmy: — „Co to jest elektryczność?“ Wyjaśnienie, do którego przejdziemy obecnie, jest jedynem, które w ogóle mówi nam coś o elektryczności.

8. Teorya „płynów“. — Wyjaśnienie to opiera się na analogii. Ześrodkowujemy uwagę na faktach opisanych pod (4), mianowicie, że ciało nienaładowane nabywa w pewnej mierze własności ciała naładowanego, dzięki prostemu z niem zetknięciu. Nie brak przykładów oczy-

wistych takiego działania w innych dziedzinach dostrzeżeń. Jeżeli chociażby dotkniemy ręką gąbki napojonej wodą, nabierze ona niektórych własności gąbki: stanie się mianowicie wilgotną. W tym przypadku nietrudno się przekonać, że udzielenie własności gąbki ręką naszym, polega na przenoszeniu (transportie) „substancji“, wody, z gąbki na rękę. Przez analogię nasuwa się tedy myśl (a przedstawiam ją tu umyślnie w postaci takiej, w jakiej nasuwa się zwykle), że udzielenie własności ciała naładowanego stykającemu się z niem ciału nienaładowanemu, polega na transporcie pewnej substancji z pierwszego ciała na drugie, a więc też, że własności ciała, które nazywamy „naładowaniem“, zdradzają obecność w niem tej właśnie przypuszczalnej substancji, którą nazwano „elektrycznością“. Jeżeli zgodzimy się na to, będziemy mogli powiedzieć, że badanie własności, które odróżniają ciało naładowane od nienaładowanego, poucza nas co do „własności elektryczności“.

Ponieważ dwa są rodzaje ciał naładowanych, których przedstawicielami były dla nas szkło naładowane i jedwab, należy przypuścić, że w grę wchodzi dwie różne substancje: „elektryczność szklana“ i „elektryczność jedwabna“ [lub „żywiczna“]. Według praw (1),

(2), (3), powiemy teraz, że dwie cząstki (części) elektryczności szklanej lub dwie jedwabnej odpychają się, zaś cząstka elektryczności szklanej i cząstka jedwabnej przyciągają się wzajemnie. Aby na tle analogii naszej przedstawić fakt, że ciało naładowane przyciąga nienaładowane, musimy uczynić pewne przypuszczenie o stanie ciała nienaładowanego, dotyczące elektryczności. Najnaturalniejszym byłoby przypuszczenie, że ciało takie wcale nie zawiera elektryczności; w takim jednak razie analogia nasza nie da żadnego odzwierciedlenia faktu, że przez tarcie wzajemne dwóch ciał, nie zawierających elektryczności, zjawia się elektryczność w każdym z nich. (Instyktownie zaś wzdramy się przed dopuszczeniem stwarzalności tej „substancji“ elektrycznej.) Innem przypuszczeniem byłoby to, że ciało nienaładowane zawiera oba rodzaje elektryczności, szklaną i jedwabną, w takim stosunku, że jedna zubożnia działanie drugiej, i że skutek tarcia polega na oddzieleniu tych dwóch rodzajów, przyczem jeden rodzaj elektryczności przyczepia się do szkła, drugi do jedwabiu; działanie takie dałoby się może naśladować przy pomocy gąbek napojonych dwiema różnemi cieczami. Według tego przypuszczenia dwa ciała nienaładowane nie przycią-

gałyby się wzajemnie dlatego, że przyciąganiu elektryczności szklanej w jednym i jedwabnej w drugim, przeciwdziałałoby odpychanie się wzajemne elektryczności jedwabnej w jednym i jedwabnej w drugim ciele, i podobnie szklanej w pierwszym i szklanej w drugim. Jeżeli natomiast zbliżymy szkło naładowane do ciała nienaładowanego, będzie ono przyciągać elektryczność jedwabną i odpychać szklaną. Skoro zaś wprowadzimy dalsze jeszcze przypuszczenie, że obie te elektryczności mogą się do pewnego stopnia we wnętrzu ciała poruszać, elektryczność jedwabna skupi się w miejscach bliższych szkła naładowanego, elektryczność zaś szklana w miejscach odleglejszych; dzięki temu, przyciąganie części bliższej zwiększy się, odpychanie zaś dalszej zmniejszy się, tak, iż w wyniku ostatecznym otrzymamy przyciąganie.

„Wyjaśniliśmy“ tedy prawa (1), (2), (3), (4); rozważmy więc jeszcze (5) i (6). Analogia znowu nam tu przychodzi z pomocą. Jeżeli sztabę pełną (nie wydrążoną) zetkniemy jednym końcem z gąbką, nie zamoczymy ręki dotykając nią drugiego końca sztaby; nastąpi to jednak skoro zamiast sztaby weźmiemy rurę. Zgodnie z tem przewodniki upodobniamy rurom: stają się one dla nas ciałami, wzdłuż których elek-

tryczność swobodnie płynąć może, podczas gdy nieprzewodniki (izolatory) są ciałami, w których nie może się poruszać swobodnie (lecz tylko przesuwając się w ciasnych granicach około pewnego położenia równowagi, — co jest niezbędne dla danego wyżej wyjaśnienia przyciągania ciał nienaładowanych jakichkolwiek, które opierało się na rozdziale obu rodzajów elektryczności).

To zaś dostarcza nam natychmiast niezbędnej wskazówki dla prawa (6). Istotnie, obecność, jak widzieliśmy, szkła naładowanego w pobliżu jednego końca ciała nienaładowanego sprawia, że elektryczność szklana zbiera się na tym końcu, jedwabna zaś na przeciwległym. Jeżeli więc ciało to jest przewodnikiem i dotykamy dalszego jego końca, elektryczność szklana, mogąc poruszać się swobodnie, odpływa dalej jeszcze od szkła naładowanego, do naszej ręki (a stąd przez ramię i t. d. do ziemi), pozostawiając w ciele nadmiar elektryczności jedwabnej. Jeżeli jednak ciało to nie jest przewodnikiem, elektryczność szklana odpłynąć nie może, tak, iż po usunięciu szkła naładowanego, ciało to nadal zawierać będzie obie elektryczności w pierwotnym stosunku, t. j. pozostanie nadal nienaładowanem.

9. **Teorye.** — Oto jest nowy krok, który uczyniono w zajmującej nas tu nauce, oto wyjaśnienie, które dla praw powyższych dano. Sądzę, że jest ono takim właśnie, jakiego spodziewał się czytelnik, i że rzuca ono istotnie nowe i cenne światło na rozważane zjawiska. Niezawodnie było mu już ono znane i wydawało się tak oczywistem, iż przy formułowaniu praw (1)—(6), musiałem zadać sobie dość trudu, aby nie skorzystać zeń, czy to jawnie, czy też w ukryty jakiś sposób. Czytelnik jednak wyraźnie powinien sobie uprzytomnić, że wyjaśnienie to stanowi istotnie pewien nowy krok w rozwoju nauki, i że można zupełnie dobrze wysłowić prawa tych zjawisk, nie uciekając się doń zgoła. Wartość jego polega niewątpliwie na tem, że spowadza ono obce nam zupełnie działania naładowanego szkła i jedwabiu do znanego nam dobrze skutku przenoszenia substancyi z jednego ciała na drugie.

Wyjaśnienie takiego rodzaju, jaki naszkicowano w § 8, proponowałbym nazwać „teoryą“.* Słowo to bywa naogół używane w również luźnym znaczeniu w nauce, jak w zwykłej rozmowie, a i tu, jak zazwyczaj, luźność ter-

* t. j. „teoryą fizyczną“, w odróżnieniu od „matematycznej“. Porównaj § 36. — *Przyp. red.*

minologii wypływa z luźności myśli. Często-
kroć zapoznawano prawdziwą istotę wyjaśnie-
nia naukowego praw, a wiele powstało zamie-
szania stąd, że nie zdołano spostrzedz wyraźnie
istotnej różnicy między takimi wyjaśnieniami
a samemi prawami wyjaśnianemi. Znaczenie,
w którym użyłem terminu „teorya“ niezawsze
zgadzać się będzie z tem, które przyjęto w wielu
podręcznikach naukowych; zdaje mi się je-
dnak, że większość autorów nie przywiązuje do
słowa tego żadnego ściśle określonego znacze-
nia, lecz używa go do oznaczenia wielu różnych
zupełnie rodzajów twierdzenia naukowego.

Musimy teraz rozpatrzyć nieco szczegółowiej
właściwą istotę teoryi i stosunek jej do praw,
które tłumaczy (wyjaśnia). Zauważyliśmy już,
że teorya powinna być taką, aby dały się z niej
wyprowadzić prawa; zobaczmy, jak dedukcyę
tę można wykonać. W zwykłym języku teoryę
powyższą tak wysłowić można: „Osobliwe
własności ciał naładowanych polegają na obec-
ności w nich pewnego nadmiaru jednego
z dwóch płynów, które nazywamy elektrycz-
nością (lub „płynami, fluidami, elektrycznymi“).
Płyny te są takie, iż każdy z nich przyciąga
dowolną część drugiego, odpycha zaś każdą
inną część tego samego rodzaju; mogą się one
poruszać swobodnie w ciałach klasy (A), lecz

nie — klasy (B)“. Dwa te zdania mają dość różne znaczenia. Drugie wyraża „własności elektryczności“; mówi nam, jaką jest istota nowych tworów pojęciowych wprowadzonych przez teorię. Pierwsze natomiast zdanie niczego zgoła o samej elektryczności nie orzeka, lecz mówi nam tylko, jaki jest związek między „elektrycznością“ a zjawiskami dostrzeganymi, dając nam możność powiązania nowego pojęcia: elektryczność, z pojęciami zawartymi w prawach, które teoria nasza miała wyjaśnić.

Podobnie też każda teoria z dwóch składa się części, z których jedna opisuje nowe pojęcia przez nią wprowadzone, druga zaś pozwala nam przetłumaczyć niejako twierdzenia wyrażone w terminach tych pojęć teorii na twierdzenia wyrażone w terminach pojęć praw. Druga ta część jest pewnego rodzaju słownikiem; ten w rozważanym przypadku polega na orzeczeniu, że ilekroć powiadamy, iż ciało jakieś zawiera nadmiar jednego z dwóch płynów elektrycznych, rozumiemy przez to zupełnie to samo, co mówiąc, że ciało to przejawia owe osobliwe własności naładowanego szkła lub jedwabiu, które opisaliśmy na początku; a orzeczenie takie niczem się nie różni od tych, które spotykamy we francuskim np. słowniku: przez „*Cela est jaune*“ rozumiemy to

samo, co przez „To jest żółte“. Zważmy, że jedynie dzięki takiemu słownikowi możemy z teorii wyprowadzić prawa. Tak np. twierdzenie teorii naszej, opiewające, że płyny przeciwne przyciągają się wzajemnie, prowadzi natychmiast do wniosku, że, jeżeli dwa ciała zawierające płyny przeciwne połączymy drutem metalowym, płyny te zmieszają się wzajemnie, zubożniając tym sposobem swe działania. Lecz wniosek ten nie oznacza niczego, co możnaby wyrazić w postaci prawa, dopóki nie uciekniemy się do słownika, aby przetłumaczyć „zawierające płyny przeciwne“ na „naładowane jak szkło i jedwab“; dopiero po dokonaniu tego przekładu otrzymujemy część prawa(5).

Jak już powiedziano na wstępie, teoria taka, składająca się z orzeczenia o pewnych nowych pojęciach oraz ze słownika, umożliwiającego przekład ich na język obserwacji (dostrzeżeń), jest poprostu równoważna prawom, dla wyjaśnienia których została zbudowana; skupia ona i wyraża prawa te w innych poprostu słowach, które z pewnych względów wydają się nam dogodniejsze i bardziej nas zadowolniają. O ile zaś teoria wogóle orzeka coś o obserwacjach, stwierdza poprostu te, które są zawarte w owych prawach; żadnych innych obserwacji przy budowie teorii nie uwzględ-

dniono. Dalej, pamiętać należy (a jest to punkt, na który szczególny położyć musimy nacisk), że jedynie przy pomocy słownika wyprowadzić można z teoryi orzeczenia o obserwacjach; wszystkie inne, wyprowadzone z niej, a nie dające się na mocy słownika przetłumaczyć, nic zgoła dostrzegalnego nie wyrażają. Tak np. teoria nasza orzeka, że „elektryczność jest płynem“. Zwracając się do naszego słownika, nie znajdujemy w nim żadnej „pozycji“ (rubryki), któraby umożliwiła przekład tego orzeczenia; możemy przetłumaczyć to, że jakieś ciało zawiera płyn elektryczny, lecz nie to, że elektryczność jest płynem. To więc orzeczenie wogóle nic takiego nie wyraża, co możnaby wysławić w terminach obserwacyi; mogłoby oznaczać coś takiego jedynie, co żadnych zgoła nie dotyczy dostrzeżeń. Jeżeli więc (jak to uczynimy później) przypisujemy orzeczeniu temu jakikolwiek sens, wypadnie nam przypuścić, że coś daje się powiedzieć o elektryczności, czego nie można wyrazić w terminach obserwacyi, a więc, że pojęcie „elektryczność“ nie daje się w terminach takich całkowicie opisać. Przeoczenie oczywistego tego wniosku wywołało bezgraniczne trudności.

10. **Wartość teoryi.** — Z kolei musimy przyrzec się teoryom ze względu na to, co nadaje

im wartości a co czyni je zarazem niebezpiecznymi. Nie potrzebowalibyśmy zatrzymywać się tak długo nad tem, czego dana teoria nie orzeka, gdyby nie groziło niebezpieczeństwo stąd właśnie, że teorye napozór orzekają więcej, niż w rzeczywistości, tj. że sugerują o wiele więcej, niż w istocie orzekają. Gdy powiadamy, że „elektryczność jest płynem obdarzonym pewnymi własnościami“, nie możemy oprzeć się myśli, że elektryczność jest czemś obdarzonym nie tylko temi własnościami, w któreśmy ją wyraźnie wyposażyli, lecz również wszystkimi własnościami wspólnymi innym rzeczom, które nazywamy niekiedy płynami. „Elektryczność“ nazwaliśmy płynem dlatego, że przypuściliśmy, iż z wielką łatwością poruszać się może w pewnych ciałach, lecz nie w innych; lecz skoro już nazwaliśmy ją tak, nie możemy oprzeć się pytaniu, czy, podobnie jak inne płyny, nie posiada ona też określonego ciężaru i objętości, czy nie będzie parować przy ogrzewaniu, krzepnąć przy oziębianiu, i tak dalej.

Otóż, rzeczywiste znaczenie nasuwających się w ten sposób pytań nie jest bezpośrednio zrozumiałe; nie wiemy bowiem wprost, czy słowa „elektryczność posiada ciężar“ mają jakiś sens wogóle, chyba, że przy pomocy słownika

możemy je tak interpretować, aby wyrażały jakieś prawo. To, co się tu nasuwa, byłoby oczywiście nowem jakimś prawem; mianowicie, że ciało zawierające więcej elektryczności powinnyby też ważyć więcej. Należy jednak pamiętać, że nasuwające się nowe orzeczenia o elektryczności mają wyrażać prawa i że do słownika pierwotnego nowe należy dodać wyrazy; niezbędność dodatków takich nie jest wprawdzie zbyt oczywista w pewnych przypadkach, lecz za to zupełnie jasna w innych. Tak np. orzeczenie, że „elektryczność posiada pewną objętość“ nie daje się bezpośrednio interpretować w tym duchu, że objętość ciała jest tym większa, im więcej zawiera ono elektryczności; wracając bowiem do naszej analogii, nie możemy powiedzieć, aby objętość gąbki zwilgoconej koniecznie miała być większa niż suchej. Nie powinniśmy sądzić, że orzeczenie takie w ogóle coś wyraża, dopóki nie upewnimy się, czy słownik nasz zawiera wyrazy, za pomocą których daje się przetłumaczyć na prawo.

Stąd, że prawa skupione w pierwotnej teorii są słuszne, nie wynika bynajmniej, aby i te prawa, które ona później nasuwa, również miały być słuszne. Czy nowe te prawa są słuszne, czy nie, rozstrzygnąć można jedynie

przez eksperyment i obserwację; musimy przekonać się, czy dają się poczynić dostrzeżenia, odpowiadające dokładnie tym prawom. Częstość przewidywania nasuwane przez teorię są błędne, t. j. nie ziszczają się, jak np. wszystkie te, które uczyniliśmy przed chwilą na podstawie „teorii płynów elektrycznych“. Nie znamy żadnych praw, dających opisać się dokładnie przez twierdzenie, że elektryczność posiada ciężar lub objętość, że krzepnie przy oziębianiu lub wyparowuje przy ogrzewaniu. Otóż, teoria nasuwająca prawa fałszywe jest oczywiście mniej zadowalniającą od takiej, która nasuwa prawdziwe; teorie faktycznie istniejące różnią się od siebie pod tym względem raczej co do stopnia, niż co do rodzaju; istotnie bowiem wszystkie niemal, poważne teorie nasunęły pewne prawa prawdziwe i wszystkie nasunęły pewne fałszywe. Wobec tego zaś byłoby pożądanem, abyśmy, o ile można, stwierdzili, w jaki sposób dochodzimy do teorii, które istotnie nasuwają lub przepowiadają ziszczające się prawa.

Nikt nie podał i, jak sądzę, nie poda też nigdy żadnego prawidła formalnego, według którego możnaby budować dobre teorie, t. j. wiodące do praw prawdziwych, a nie fałszywych. Usiłowano wprowadzić, jak czytelnikowi

wiadomo niezawodnie, sformułować prawa, wynajdywania* praw, lecz wszystkie te próby wydają mi się zgoła niezadowolniającymi; co do teorii zaś, to nie próbowano tego nawet. Możemy jednak sprawę tę poniekąd wyświecić, wracając raz jeszcze do pytania, dlaczego wogóle budujemy teorie. Oto, jak powiedzieliśmy już, dlatego, że prawa wydają się nam niezadowolniającymi, dlatego że nie czynią zadość potrzebom estetycznym naszego umysłu. Fakt sam, że udało się zbudować jakąkolwiek wogóle dobrą (prawdziwą) teorię, tak iż mając pierwotnie tylko na celu nową postać sformułowania pewnych praw, można było otrzymać formę wyrażającą nietylko owe prawa lecz inne też, o których na początku wcale się nie myślało, fakt ten, zdaniem mojem, dowodzi, że instynkt zniewalający nas do budowy jakichkolwiek wogóle teorii, wskazuje nam też drogę do dobrych właśnie te-

* W oryginale czytamy mianowicie *invention*, wynajdywanie; na pierwszy rzut oka zdawałoby się tu odpowiedniejszym słowo „odkrycie“ „odkrywanie“, jak się mówi o odkryciu Ameryki, w przeciwstawieniu do wynalezienia telefonu chociażby; po głębszem atoli zastanowieniu przekona się czytelnik, że i w zdobywaniu praw nie brak pewnych elementów czysto wynalazczych. *Przyp. red.*

oryi. Gdybyśmy bowiem przekonali się z doświadczenia, że pojęcia, które wprowadzamy dla zaspokojenia naszych potrzeb intelektualnych, domagających się wyjścia poza prawa znane, — że pojęcia te częstokroć lub zawsze zawodzą nasze oczekiwanie, nie staralibyśmy się wcale potrzeb owych zaspokoić, przestałibyśmy zajmować się nauką. Nauka dlatego tylko jest możliwą, że dostrzeżenia okazują się zgodnemi z potrzebami rozumu; uwaga ta jest niemal truizmem.

11. **Kunszt nauki.*** — Mówiłem o ludzkich potrzebach intelektualnych; lecz ludzie różnią się się co do tych potrzeb: niektórzy wolą zajmować się literaturą, inni znowu matematyką lub inną jakąś nauką. Jacyż więc są ludzie, których potrzeby intelektualne kierują jakby bieg zjawisk przyrody, tj. dają zgodne z nim naogół przewidywania? Odpowiedź jest oczywista: są to prawdziwie wielcy uczeni. Owi filozofowie, którzy — w ostatniem zwłaszcza stuleciu — usiłowali zanalizować i opisać „Metodę nauki“ jako mechaniczny niemal przepis wyprowadzania wyników z obserwacji,

* W ten jedynie sposób uważałem za możliwe spolszczyć tytuł angielski *The Art of Science*, tego paragrafu. Zresztą z samej treści jego zobaczy czytelnik najlepiej, o co autorowi chodzi. *Przyp. red.*

nigdy nie podjęli zagadnienia, czem się to dzieje, że wielkie postępy w nauce nie zostały dokonane przez tych, którzy byli (lub, którym zdawało się, że byli) najlepiej obeznani z „metoda”, lecz przez ludzi takich jak Newton lub Faraday, którzy nie posiadali wybitnego talentu filozoficznego. Autorzy tacy (którzy pisali o „metodzie”) starając się uczynić wyniki naukowe bardziej dla laika przekonującymi, usiłują jednocześnie ukryć przed czytelnikiem fakt, że wyniki te zdobyto dzięki polotom wyobraźni, na jakie zwykły czytelnik nigdy nie mógłby się zdobyć. Wszelka prawdziwa filozofia nauki powinna uznać, że zdobycie każdej cennej teorii wymaga obecności pewnego pierwiastka intelektualnego, który jest również osobistym, nie dającym się opisać ani też na innych przelać, jak ten, co charakteryzuje dzieło wielkiego artysty. Nauka w najwyższej swej postaci, nie jest przeciwstawieniem sztuki, lecz pewną jej formą.

Osobliwa zaś ta moc intelektualna jest nieodzowną zarówno dla zrozumienia istniejącej już teorii, jak do wynalezienia nowej. Dana teoria nasuwać może rzeczy błędne zarówno jak prawdziwe, lecz ludzie obdarzeni instynktem prawdziwie naukowym idą jedynie za podszeptem tych a nie tamtych. Te np. nasuwające się

błędne myśli, które przytoczyliśmy nieco wyżej, nie wstrzymały postępu nauki; wszystkie one bowiem (z wyjątkiem tej, że elektryczność posiada ciężar, co może niezupełnie być błędne) wydają się wprost śmiesznymi każdemu, kto tylko posiada jakie takie poczucie naukowe; nikt z takich nie wzięby ich seryo. Zwodnicze takie podszepty teorii są natomiast bardzo niebezpieczne dla tych, co poczucia tego nie posiadają, i dały też początek całemu mnóstwu bezsensownych dyskusyi. Gdy prostak, a tembardziej filozof, słyszą od uczonych, że elektryczność jest substancją, zapędzają się natychmiast do wniosku, że „elektryczność” posiada wszelkie własności innych rzeczy, które sami substancjami nazywają. W zamieszaniu tem chodzi po części o słowa; trudno jest nieco pogodzić się z myślą, aby twierdzenie „elektryczność jest substancją” nie miało posiadać tego samego chociażby rodzaju znaczenia, co twierdzenie, że „bursztyn jest substancją” — aczkolwiek widzieliśmy, że drugie jest poprostu opisem pewnych dostrzeżeń, podczas gdy w pierwszym chodzi o pewne pojęcia, nie dające się określić całkowicie w terminach dostrzeżeń. Ludzie nienaukowi skarżą się często na terminy techniczne, którymi posługuje się nauka; istotnie jednak popełnialiby

daleko mniej błędów, gdyby nauka używała nie mniej lecz więcej takich właśnie terminów; niema obfitszego źródła błędów, jak używanie utartego słowa w nowem znaczeniu. Źródła atoli nieporozumień leżą też po części głębiej, a mianowicie w podatności na błędne raczej podszepty teoryi, niż na prawdziwe. Teorye naukowe są budowane przez i dla ludzi nauki; oni to tylko właściwie je rozumieją; ci, co nie posiadają instynktu naukowego [zmysłu do nauki], powinni raczej możliwie unikać teoryi. Nauka nie jest „zorganizowanym commonsensem“ lecz najbardziej może tajemniczym wytworem (*esoteric*).

Z tych to względów staraliśmy się, wedle możliwości, obejść na samym początku naszych roztrząsań formę pytania: „Co to jest elektryczność?“ Takie bowiem pytanie niechybnie nasuwa odpowiedź zaczynającą się od słów „Elektryczność jest to substancya...“ W ciągu dalszym zobaczymy, że istnieją teorye zjawisk elektrycznych, które odpowiedzi tego rodzaju zgoła nie dopuszczają; lecz jeżeli przyjmiemy nawet teorye, które do odpowiedzi takiej prowadzą, odpowiedź ta, bez starannego wyjaśnienia, niemal napewno w błąd wprowadzić musi.

Zakończywszy przydługi nasz wstęp, może-

my teraz bez obawy popełnienia grubszego błędu przejść do rozważenia kilku wyników szczegółowszych badania zjawisk elektrycznych. W następnych paragrafach znowu wprowadzimy prawa, teraz jednak będą to prawa, które nie powstały z samej obserwacji, lecz nasunęły się wyraźnie dzięki teorii, a potem dopiero zostały sprawdzone. Najważniejsze z tych praw dotyczą pomiaru wielkości elektrycznych.

ROZDZIAŁ II.

Pomiary elektrostatyczne.

12. Co to jest pomiar? — Z pojęciem pomiaru wszyscy są obeznani, a nawet tak dalece oswojeni, iż mało jest osób, które starały się je wogóle zanalizować. Każdemu wiadomo, że są pewne jakości, które dają, inne znowu, które nie dają się mierzyć, lecz bynajmniej nie wszyscy mogliby poniekąd chociażby zdać sprawę z istotnej różnicy, która zachodzi między jakościami wymierzalnymi a niewymierzalnymi. Dajmy na to, iż mamy wielką liczbę dzbanów, różnych co do wielkości, ciężaru, barwy, twardości i rysunku artystycznego; z pośród jakości tych, co do których dzbany różnią się wzajemnie, dwie pierwsze bezpośrednio dają się stwierdzić i zmierzyć; wszyscy wiedzą, co oznacza twierdzenie, że jeden z dzbanów jest np. trzy lub pięć razy większy (co do objętości) lub cięższy od innego. Myśl natomiast pomiaru barwy dzbanów (tj. wyrażenia różnicy barw dwóch dzbanów przez róż-

nicę pewnych liczb) nasunęłyby się tym jedynie, którzy oswoili się z pewnymi wywodami optyki dość świeżej daty; pomiar twardości jest, jak dotąd, możliwy dla najbardziej nawet posuniętych w nauce w stopniu mało zadowalniającym, pomiary zaś rysunku artystycznego, t. j. jego wartości artystycznej, są wręcz niemożliwe: nikt nie przywiązywałby ścisłego jakiegoś znaczenia do orzeczeń takich, jak że jeden dzban jest dwa razy piękniejszy od drugiego.

Dwojaki może być cel stosowania liczb dla odróżnienia przedmiotów pod względem danej jakości. Po pierwsze może to być wygodne poprostu jako metoda opisu detalicznego. Szereg liczb może zastępować szereg słów, a daje to tę znaczną dogodność, że liczb łatwo utworzyć możemy tyle, ile nam się podoba. Gdyby przyniesiono nam nowy jakiś dzban i gdybyśmy chcieli porównać go co do wielkości z jednym z pierwotnego naszego szeregu dzbanów, moglibyśmy powiedzieć np., że wielkość jego zbliża się poniekąd do wielkości dzbanu z nadłamaną rączką i innego jeszcze o plamach niebieskich. Lecz gdyby dzbanów było bardzo wiele, niełatwo byłoby znaleźć dostateczną liczbę opisów tego rodzaju dla odróżnienia wszystkich dzbanów; wówczas dogodnie by-

łoby ponumerować je, a więc nazwać dzban o nadłamanej ręczce dzbanem Nr. 1, dzban o plamach niebieskich — Nr. 2, itd.; gdybyśmy nie wiem ile nawet dzbanów mieli, nie zbrakłoby nam opisów tego rodzaju, t. j. numerów.

W ten to sposób korzystamy z liczb w życiu codziennem, gdy chodzi np. o określenie domów na tej lub owej ulicy. W ten również sposób stosować można liczby, gdy chodzi o jakąkolwiek własność, piękno artystyczne zarówno jak wielkość; liczby zresztą, acz najdogodniejsze w celach odróżniania, nie stanowią bynajmniej jedyne pod tym względem środka; również literami alfabetu posłużyć się możemy, zwłaszcza jeżeli wiemy z góry, że liczba przedmiotów naszych jest ograniczona (skończona). To jednak stosowanie liczb, chociaż stanowi logiczną podstawę pomiaru, nie jest jeszcze pomiarem właściwym. Gdy posługujemy się liczbami nie dla samego tylko opisu jakości, lecz dla ich mierzenia, zakładamy, że między jakościami, które oznaczyliśmy np. przez „2“, przez „3“ i przez „5“ zachodzi pewien związek, który przestanie zachodzić, gdy jakość „3“ zastąpimy przez jakość „4“, jak np. związek, który wyrażamy, mówiąc, że jakość „5“ jest sumą jakości „2“ i „3“. Ten

to związek, czyli stosunek, rozważyć musimy szczegółowiej.

13. **Logika pomiaru.** — Jeżeli powiadamy, że objętość jednego dzbanu jest pięć razy większa od objętości drugiego, rozumiemy przez to, że napełniwszy drugi dzban wodą i wypróżniwszy go starannie do pierwszego, po pięciokrotnem wykonaniu tego procesu napełnimy cały pierwszy dzban. Jeżeli powiadamy, że jeden dzban jest pięć razy cięższy od drugiego, rozumiemy przez to, że pięć dzbanów zupełnie do drugiego podobnych, umieszczonych na jednej szali wagi, zrównoważy pierwszy dzban umieszczony na drugiej szali. W każdym z tych przypadków liczba pięć wyraża, ile razy wykonać musimy na drugim dzbanie pewne działanie, aby otrzymać ten sam skutek co przez jednokrotne wykonanie tegoż działania na pierwszym dzbanie. Działania te jednak są różne w różnych przypadkach, i dobrze zapamiętać należy, że rodzaj czyli istota działania nie stanowi sprawy obojętnej, lecz musi być dokładnie określona; dopóki nie wiemy, jakim jest to działanie, twierdzenie, że jedno ciało jest co do pewnej jakości pięciokrotnością drugiego nie daje nam żadnej zgoła informacyi. Pytamy więc, dlaczego dla pomiaru

pewnej jakości wybieramy raczej jedno niż drugie działanie, i jak określić możemy, które działanie jest w danym przypadku „odpowiednie“, „właściwe“.

Aby na to odpowiedzieć, zważmy, że pomiary powinny być zgodne ze sobą, tj. że nie powinny dać się wykonać tak, aby dla liczby wyrażającej jedną i tę samą jakość wynikły dwie lub więcej różnych wartości. Rozważmy np. samą tylko wielkość (pojemność) dzbanów. Dajmy na to, iż mamy cztery dzbany, A, B, C, D; z tych niechaj jeden (A) ma pojemność, którą z jakichkolwiek powodów wyrażamy przez 1. Napełniamy dzban A i wypróżniamy starannie zawartość jego kolejno do B, C i D dopóty, dopóki nie będą pełne; znajdujemy, że dwa takie napełnienia i wypróżnienia są wymagane dla napełnienia B, cztery dla napełnienia C, wreszcie sześć dla napełnienia D. Wówczas, zgodnie z powyższymi uwagami, będziemy wiedzieli, że pojemności dzbanów B, C i D są 2, 4 i 6. Otóż, z tego, co powiedziano o znaczeniu pomiaru pojemności, wynika, że jeżeli napełnimy B i C i obadwa wypróżnimy do D, dzban D musi być akurat pełny, gdyż $2+4=6$. Próbujemy doświadczenie to wykonać i przekonywamy się, że wypada dobrze, tj. że D akurat się napełnia. Lecz wynik ten niekonie-

cznie musiał być do przewidzenia; nie jest on bowiem wnioskiem logicznym wypływającym z podanego określenia pomiaru pojemności i z twierdzenia arytmetycznego $2+4=6$; można go było przewidzieć jedynie dzięki obserwacyi; jest to więc prawo. Gdybyśmy działanie odpowiadające naszym pomiarom określili inaczej, nie otrzymalibyśmy tego samego wyniku. Moglibyśmy np. powiedzieć, że orzeczenie, iż pojemność jednego dzbana jest pięć razy większa od drugiego, oznaczać ma, że jeżeli napełniamy drugi i rzucamy w pierwszy (zamiast przelać zawartość jego starannie) pięciokrotnie, pierwszy będzie napełniony. W takim jednak razie nie otrzymalibyśmy już powyższego stosunku między pojemnościami B, C i D; pomiary nasze nie byłyby w drugim tym przypadku zgodne między sobą. Nic zaś innego oprócz doświadczenia nie mogłoby pouczyć nas, jakie z tych dwóch działań: staranne przelewanie (przenoszenie), czy dowolne ciskanie, doprowadzi do wyników samo-zgodnych. To, że jedno z tych działań wydaje się nam rozsądnem, drugie zaś nedorzecznem, jest poprostu dziełem długotrwałego doświadczenia.

Wynika stąd, że, jeżeli pomiar wogóle ma być możliwy, musimy posiadać już dość szczegółową znajomość pewnych praw; musimy

znaleźć pewne działanie, dla pomiaru w tem znaczeniu słowa odpowiednie, iż prowadzić będzie do zgodnych ze sobą wyników. Czy to lub owo nasuwające się działanie spełni czy też nie spełni tego wymagania, o tem wiedzieć możemy jedynie z doświadczenia. Powodem, dla którego pewne jakości możemy mierzyć, innych zaś nie, jest to, że dla pewnych zdołano znaleźć owo działanie odpowiednie, dla innych zaś nie; znaleziono je np. dla objętości i ciężaru; znaleziono je również, acz w zawilszej znacznie postaci, dla barwy; dla twardości powiodło się to w sposób niebardzo zadowalniający, zaś dla rysunku artystycznego (t. j. wogóle dla wartości estetycznej) wcale działania takiego nie znaleziono.

Dotychczas nie wspomnieliśmy o tem, skąd wiemy, że pojemność jednego z dzbanów naszych jest 1. Otóż, wcale tego nie wiemy; przyjmujemy to poprostu. Skoro znaleźliśmy „odpowiednie“ działanie, możemy przyjąć za 1 pojemność tego dzbanu, który nam się podoba, a pomiary nasze będą zgodne ze sobą, chociaż liczba, która przypadnie na wszystkie inne dzbany, będzie oczywiście zależną od wyboru dzbanu, którego pojemność oznaczyliśmy przez 1.

Wyrażając się językiem formalnym, trzy

uczynić musimy orzeczenia, jeżeli ma wogóle być mowa o pomiarze jakości. (1) Powiadamy, że ilość (liczba) wynikająca z pomiaru jest jedna i ta sama dla dwóch przedmiotów podobnych co do pewnej jakości. Tak np. pojemność dwóch dzbanów (i odpowiednia liczba) jest jedna i ta sama, jeżeli woda wypełniająca jeden, dokładnie też wypełnić może drugi. (2) Powiadamy, że ilość ta jest 1 dla pewnego, szczególnego, lecz dowolnie wybranego, przedmiotu, — jak np. dla dzbanu o plamach niebieskich. (3) Przez twierdzenie, że ilość dla jednego przedmiotu jest sumą ilości dla dwóch innych przedmiotów, rozumiemy to, że wykonanie pewnego określonego działania na dwóch ostatnich przedmiotach daje ten sam wynik co wykonanie tegoż działania na pierwszym przedmiocie. Tak np. twierdząc, że pojemność jednego dzbanu jest sumą pojemności dwóch innych, chcemy przez to powiedzieć, że jeżeli do innego jakiegoś naczynia nalejemy zawartości dwóch ostatnich, woda podniesie się w nim do tegoż poziomu, do którego sięgałaby, gdybyśmy naleli do naczynia tego zawartość pierwszego dzbanu.

Są to same określenia: (1) jest czysto słowne, tj. określeniem tego rodzaju, jakie znajdujemy w słowniku; (2) jest zupełnie dowolne, jak

np., gdy nazywamy psa S p o t'em; (3) jest zasadniczo ważne; należy je wybrać bardzo starannie, o ile zaś suponuje ono, że wogóle możliwy jest pomiar prowadzący do wyników zgodnych, zawiera już w sobie ważne jakieś prawo, które może nawet bardzo być skomplikowane.

Skoro już wiemy, co znaczy pomiar wogóle, możemy przejść do dyskusji pomiaru ilości elektrycznych.

14. **Ilość elektryczności.** — Zadanie nasze tak przedstawić się daje. Mamy kilka bryłek szkła naładowanego, tj. szkła, które w opisanych poprzednio okolicznościach nabyło własności przyciągania lekkich przedmiotów. Bryłki te nie przyciągają danego jakiegoś lekkiego przedmiotu w jednakowy sposób; chodzi o opis tej różnicy własności bryłek szklanych przez różnicę liczb, taki mianowicie, aby liczba przypadająca na każdą z tych bryłek szkła była zawsze ta sama, w jakikolwiek otrzymalibyśmy ją sposób, byle tylko zgodny z naszą metodą.

Przedewszystkiem należy zauważyć, że nie tworzymy tu nauki od jej początków. Zakładamy, że rozwinięto już poniekąd naukę i określono już pewne ilości wymierzalne. Pośród ilości tych, urobionych już, mamy dłu-

gości i siły (nie możemy tu cofnąć się jeszcze bardziej wstecz i zająć się niezmiernie ciekawym pytaniem, jak mierzy się te również ilości). Otóż, różnice co do własności przyciągającej różnych bryłek szkła opisać możemy przez te ilości wymierzalne, które według założenia znamy już; przekonywamy się, że przyciąganie, wywierane przez jedną i tę samą bryłkę szkła na jeden i ten sam przedmiot lekki, jest różne, zależnie od odległości między szkłem a przedmiotem. Zgodnie z tem, część zajmujących nas różnic daje się w ten sposób opisać, iż badamy stosunek zachodzący między liczbą wyrażającą siłę przyciągania (wywieraną przez dane ciało naładowane na dany przedmiot lekki) a odległością ciała naładowanego od przedmiotu, a następnie notujemy odległości różnych ciał naładowanych od tegoż przedmiotu przyciąganego. Lecz wykonawszy cały ten proces, zobaczymy, że pozostają pewne jeszcze różnice; chociaż uwzględniliśmy już różnice odległości za pomocą odkrytego stosunku lub też wyrugowaliśmy wszelkie różnice odległości, umieszczając wszystkie ciała naładowane w jednej i tej samej odległości od przedmiotu, przekonamy się, że przyciąganie* wy-

* Dla krótkości posługiwać się będziemy odtąd słowem „przyciąganie“, zarówno gdy chodzić będzie istotnie

wierane przez różne ciała naładowane przeciw będzie różne. Wyczerpaliśmy już ilości wymierzalne, dawniej już znane i musimy wynaleźć nową jakąś ilość, aby i pozostałe te różnice zmierzyć.

Teraz to właśnie teoria elektryczności przybywa nam z pomocą. Co do pierwszych dwóch określeń niezbędnych dla wymierzalności, pomoc tej teorii jest nam niepotrzebna. Zgodnie z tem, co powiedziano na str. 44, dwa te określenia tak wysłowić można:

(1) „Dwa ciała są teżsame ze względu na ilość, którą mamy zmierzyć, jeżeli wywierają to samo przyciąganie na ten sam przedmiot w tej samej umieszczony odległości“*.

o przyciąganie jak też o „odpychanie“, chyba, że wypadnie nam jedno przeciwstawić drugiemu.

* Zauważmy, że w tym przypadku (1) nie jest określeniem czysto słownem. Jeżeli mamy otrzymać zgodne w sobie wyniki, jasną jest rzeczą, że jeżeli dwa ciała przyciągają jednakowo przedmiot A, muszą one przyciągać też jednakowo inny przedmiot B; w przeciwnym bowiem razie doszlibyśmy do różnych wyników, zależnie od tego, czy użylibyśmy A czy też B jako ciała próbnego. O tem zaś, że wybór między A i B jest sprawą obojętną, wiedzieć możemy jedynie z doświadczenia. Tak więc, w przypadku naszym, (1) implikuje pewne prawo; logiczniej byłoby, lecz o wiele mniej dogodnie dla wykładu, gdybyśmy określenia zmienili, wcielając prawo to do (3) zamiast do (1).

(2) „Ilość ta jest 1 dla ciała, jeżeli to w odległości 1 od drugiego ciała, dla którego ilość ta jest też sama, przyciąga drugie ciało z siłą 1.“

Jakież jednak działanie mamy wziąć za podstawę określenia (3)? Odpowiedź na to pytanie niewątpliwie nasunęła się pierwotnie dzięki teorii elektryczności.

W poprzednim rozdziale skreśliliśmy analogię między elektrycznością a płynem. Ilość wymierzalną, reprezentującą różnicę między dwoma dzbanami co do mieszczącej się w nich wody, nazywamy „ilością wody“ w jednym lub drugim, działaniem zaś odpowiedniem dla jej pomiaru jest, jak widzieliśmy, wypróżnianie jednego naczynia do drugiego. Owóż, w przypadku zjawisk elektrycznych, jest pewien, proces, który na pierwszy rzut oka odpowiada zupełnie wypróżnianiu jednego naczynia do drugiego. Są okoliczności*, w których ciało naładowane A, wprowadzone w zetknięcie z innym ciałem naładowanem B a

* „Okoliczności“ te polegają na tem, że ciało A (przewodnik) wprowadzamy do wydrążenia w B (również przewodnik), tak aby A dotknęło wewnętrznej strony B, na krótką chociażby chwilę, a następnie wyjmujemy A z wydrążenia, lub przerywamy chociażby zetknięcie A z B. Autorowi chodzi jednak widocznie o to, aby nie obciążać uwagi czytelnika szczegółami. *Przyp. red.*

następnie usunięte, traci swój ładunek, jednocześnie zaś własności przyciągające B zmieniają się, tj. A przestaje przyciągać lekkie przedmioty, B zaś przyciąga je z tej samej odległości z inną siłą niż przedtem. Analogia nasuwa myśl, że działanie to będzie „odpowiednie“; nazywamy przeto ilość, którą pragnęlibyśmy określić, „ilością elektryczności“ w ciele i w drodze próby proponujemy określenie następujące:

(3) „Ilość elektryczności w A (lub na A) dodaje się do ilości elektryczności w B przez zetknięcie A z B w danych okolicznościach“. (Opis szczegółowy tych „okoliczności“ byłby dla celów naszych zbyt zbytecznym.)

Z kolei musimy przekonać się, czy określenie to prowadzi do wyników zgodnych ze sobą [w objaśnionem już powyżej znaczeniu]. W tym celu należy wykonać doświadczenia następujące. Bierzemy trzy ciała nienaładowane, A , B , C i oprócz tego znaczną liczbę ciał, z których każde posiada ilość elektryczności 1, w myśl określenia (2). Wprowadzamy n z tych ciał w zetknięcie z A , zaś m z B , zawsze w owych „okolicznościach“; następnie wprowadzamy kolejno A i B w zetknięcie z ciałem C ; wówczas C posiadać będzie, według naszego określenia, ilość elektryczności

$n+m$. Zapisujemy sobie siłę, z jaką C przyciąga inne jakies ciało D (w danej odległości), poczem wyładowujemy C . Następnie wprowadzamy $n+m$ naszych ciał jednostkowych w zetknięcie z ciałem C ; wówczas C znowu powinno posiadać ilość elektryczności $n+m$; zapisujemy sobie znowu siłę, z jaką C przyciąga D w tej samej, co poprzednio odległości. Jeżeli siła będzie ta sama, przy nie wiem ilu powtórzeniach tego doświadczenia, przy różnych ciałach A , B , C i różnych liczbach m , n , powiemy, że określenie nasze prowadzi do pomiarów zgodnych w sobie, i cel nasz będzie osiągnięty.

Otóż, szeregi takich doświadczeń wielokrotnie już wykonano istotnie, — chociaż szczegóły ich były, oczywiście, znacznie zawilsze, niż w naszym opisie szematycznym. Nie wiem, czy ktokolwiek podejmował je z wyraźnym celem sprawdzenia zgodności pomiarów; uczeni bowiem, w zaczątkach nauki o elektryczności przynajmniej, nie troszczyli się o logikę pomiaru; lecz bądź co bądź prób tego rodzaju, acz bez wyraźnego celu, dokonano mnóstwo na każdym kroku, a nigdy dotąd nie natknięto się na jakąkolwiek niezgodność. To więc, co nazwaliśmy ilością „elektryczności“ jest dobrze w nauce ugruntowane i stanowi podstawę wielu

innych pomiarów elektrycznych. Pomimo to niejedyn badacz byłby w kłopotcie, gdyby miał nam wyłuszczyć jasno wszystkie argumenty i spostrzeżenia niezbędne dla pomiaru tej ilości.

15. Elektryczność dodatnia i ujemna. — Nie uszło uwagi czytelnika, że mówiłem wciąż tylko o jednej „ilości elektryczności“, podczas gdy teoria wymagała uznania dwóch rodzajów elektryczności — „szklanej“ i „jedwabnej“ [lub „żywicznej“]. Czyż więc do zupełnego opisu zjawisk elektrycznych nie potrzeba nam dwóch ilości? Nie, — a ta właśnie odpowiedź jest godnym uwagi wynikiem przyjętych przez nas określeń oraz jedną z głównych ich zalet.

Widzieliśmy już, że jeżeli ciało naładowane elektrycznością szklaną przyciąga inne jakies ciało naładowane X , natenczas ciało naładowane elektrycznością jedwabną odpycha X . Jeżeli dwa te ciała wprowadzimy w zetknięcie, tak aby różne ich elektryczności zmieszały się, skutki ich będą przeciwdziałać sobie i przyciąganie będzie mniejsze, niż gdyby każde z nich działało z osobna*. Ponieważ obadwa

* Przy milczącym, oczywiście, założeniu, że różnica ich ilości elektryczności jest (bezwzględnie) mniejsza od każdej ilości z osobna. *Przyp. red.*

rodzajem naładowanych przyciągają ciało neutralne (nienaładowane), możnaby na pierwszy rzut oka oczekiwać, że zmieszane elektryczności przyciągać będą dany przedmiot silniej, niż każda z osobna. Domysł ten byłby jednak błędnym; przyciąganie zmniejsza się dla ciała nienaładowanego w tym samym stosunku co dla przedmiotu naładowanego, — fakt, z którego wspomniana teoria łatwo zdać może sprawę.

Przypuśćmy tedy, że A jest naładowane elektrycznością szklaną, zaś B — jedwabną i że ilości elektryczności ciał A , B dodajemy do siebie, w myśl naszego określenia, przenosząc jedną i drugą na ciało C pierwotnie nienaładowane; wówczas zdarzyć się może czasem, że C nadal też pozostanie bez żadnego ładunku. Otóż, gdybyśmy po dodaniu A (lub B) nie dodali B (lub A), lecz odjęli A (względnie B), wynik byłby dokładnie ten sam: C byłoby znowu nienaładowane. Widzimy stąd, że skutek dodania (tj. udzielenia jakiemuś ciału) jednego rodzaju elektryczności jest dokładnie taki sam, jak odjęcia drugiego rodzaju elektryczności. Otóż, jeżeli — w arytmetyce — skutek dodania jednej liczby a jest ten sam co odjęcia drugiej, druga liczba nazywa się ujemną względem pierwszej; skutek dodania $+2$ jest ten

sam co odjęcia —2, Podobnie też, jeżeli w rozważonym przed chwilą przypadku nazwiemy ilość elektryczności na A (lub na B) $+a$, zaś na B (względnie na A) $-a$, żadne dalsze określenia nie będą już nam potrzebne dla pomiarów ilości obydwu rodzajów elektryczności. Znowu wypadnie nam zbadać, czy tym sposobem do zgodnych w sobie dojdziemy wyników, co wymagać będzie doświadczeń w zasadzie podobnych do tych, które opisaliśmy poprzednio; w rzeczywistości też pomiary okazały i pod tym również względem zupełną zgodność.

Możnaby jednak zapytać jeszcze, czy nie należy teraz obostrzyć określenia (2), czy nie otrzymamy różnych oszacowań ilości elektryczności dla danego ciała, zależnie od tego, czy ciało „jednostkowe“, obrane dla określenia ilości 1, jest naładowane elektrycznością szklaną czy też jedwabną. Otóż, z doświadczenia okazało się, że zmiana ładunku ciała jednostkowego z rodzaju szklanego na rodzaj jedwabny to jedynie pociąga za sobą, że powinniśmy zmienić znak ilości elektryczności, otrzymanej w myśl określenia pierwotnego, z $+$ na $-$, lub odwrotnie; zaś liczba (wartość bezwzględna), wyrażająca ilość elektryczności, nie ulegnie żadnej zmianie; ilość $+2$ stanie się ilością -2

a nie -3 lub -1 . Treść odkrycia tego jest prawem doświadczalnym, i to nader wygodnym. Można je inaczej jeszcze wysłowić: Jeżeli ciało A , naładowane elektrycznością szklaną, przyciąga lub odpycha ciało C z tą samą siłą, co ciało B , naładowane elektrycznością jedwabną, odpycha lub przyciąga toż samo ciało C , natenczas, przenosząc w opisany sposób ilości elektryczności ciał A i B na ciało D , nie zmienimy w niczem ładunku ciała D .

Ponieważ tedy ilość elektryczności szklanej jest dokładnie równoważna ilości elektryczności jedwabnej wziętej ze znakiem przeciwnym, ilości jednego rodzaju wyrażamy przez liczby dodatnie, ilości drugiego — przez liczby ujemne. Obojętną jest przytem sprawą, który z rodzajów kojarzymy ze znakiem dodatnim; przez konwencję, która była dziełem ślepego jedynie trafu, kojarzy się elektryczność szklaną z liczbami dodatnimi, jedwabną — z ujemnymi, tak iż obecnie nazwy „elektryczności szklanej“ i „jedwabnej“ [lub też „żywicznej“] zastępuje się powszechnie nazwami elektryczności „dodatniej“, względnie „ujemnej“.

16. **Zastosowanie pomiaru.** — Skoro już udało nam się, w tej lub owej dziedzinie naukowej, określić ilości wymierzalne, otwiera

się przed nami natychmiast nowe pole badania: usiłujemy znaleźć związki zachodzące stale między różnymi ilościami wymierzalnemi. Sformułowanie związków takich daje nam prawa; te, podobnie jak prawa, od których rozpoczęliśmy nasze roztrząsania, są opisami dostrzeżeń (obserwacyi). Wypada jednak zaznaczyć, że stanowią one opisy osobliwego bardzo rodzaju; jeżeli ktoś nie posiadałby pewnych z góry urobionych pojęć, mógłby uczynić opisywane przez prawa te obserwacje istotne nie wiem ile razy, zanim wpadłby na myśl, aby je w ten właśnie szczególnie opisać sposób. Zgoła niestusznem jest mniemanie, jakoby prawa można było zdobywać przez samą tylko obserwację i eksperyment. Prawda, że odkrycie jakiegokolwiek prawa na drodze czystej obserwacyi nie jest logicznie niemożliwem, w rzeczywistości jednak na postać prawa (a ta właśnie jest ważną) składają się w najważniejszych przypadkach pewne pojęcia, wypływające nie z obserwacyi, lecz najczęściej z jakiejś teoryi. Choć logicznie prawa wyprzedzają teorye, najważniejsze przecież prawa, odkryte w dziedzinie fizyki, historycznie następowały po teoryach. Istotnie, wszystkie niemal najważniejsze prawa takie wyrażają właśnie związki

między ilościami wymierzalnemi, a bez wahania rzecby można, że nie wprowadzono do fizyki ani jednej jeszcze nowej ilości wymierzalnej, której nie nasunęłaby uprzednio jakaś teoria. Niektórzy, bardzo wybitni nawet uczeni sądzili, że badania ich szłyby lepiej bez wszelkich teorii; na pogląd taki możnaby zgodzić się tylko pod warunkiem, że słowo „teoria“ inne zgoła ma znaczenie niż u nas.

Najważniejsze prawa w obchodzącej nas tu gałęzi nauki o elektryczności, wyrażające związki między ilościami wymierzalnemi, są:

(1) Siła przyciągania wywierana przez jakiegokolwiek ciało naładowane na inne ciało naładowane umieszczone w danej od tamtego odległości, jest proporcjonalna do ilości elektryczności tak jednego jak drugiego ciała*.

* W nowoczesnej teorii matematycznej elektryczności(1) nie figuruje jako prawo, lecz jako określenie „ilości elektryczności“; dalej dwa pierwsze określenia podane na str. 47—48 są zachowane, trzecie zaś jest zastąpione przez umowę, że jeżeli powiadamy: „ilość elektryczności na jednym ciele jest dwa razy tak wielka jak na drugim“, rozumiemy przez to, że pierwsze wywiera siłę dwa razy tak wielką niż drugie na ciało, względem którego obadwa ciała naładowane w tem samym znajdują się położeniu. Określenie (3) staje się wówczas rzetelnem prawem, opiewającym, że wynikiem zetknięcia przy danych warunkach jest to, że jedno ciało otrzymuje całkowity ładunek drugiego. (C. d. przypisku na str. 57.)

(2) W każdym odosobnionym układzie ciał suma ilości elektryczności wszystkich ciał pozostaje stałą, chociażbyśmy ciała te nie wiem jakim poddali zmianom [odkształcając je np. lub przesuważając wzajemnie]. Właściwie powiedziałbym, że pozorne to prawo jest przy ściślejszej ocenie logicznej określeniem tego tylko, co rozumiemy przez „odosobniony“ (izolowany); lecz bądź co bądź streszcza ono w sobie ważne bardzo fakty, których wysłowienie w postaci logicznie poprawniejszej byłoby trudne i niezgrabne.

Wolałem przyjąć określenia tekstu, a to z dwóch powodów. Po pierwsze zgadzają się one lepiej z rozwojem historycznym przedmiotu; po drugie zaś dostarczają znakomitej sposobności do wyjaśnienia logiki pomiaru. Nowsze określenie zgoła od logiki tej nie zależy, o ile chodzi o naukę elektryczną; zapożyczają one pojęcie siły, jako ilości wymierzalnej, od dynamiki, która dowiodła już doświadczalnie, że siła jest ilością zgodnie wymierzalną. Ponieważ zaś przy określeniu pomiaru siły następują one szczególne trudności, nie powiązane z logiką pomiaru w ogóle, wolałem ich raczej unikać, uciekając się do systemu mierzenia, który nie opiera się na tem pojęciu. Czytelnik spostrzeżł niezawodnie, że przy wykładzie naszym o pomiarach nigdy nie mówiliśmy o jednej sile jako dwa razy większej od drugiej, tylko o równej drugiej; korzystaliśmy więc z pierwszych dwóch tylko z pośród trzech punktów wymaganych dla określenia siły; trudności, jak zwykle, kojarzą się z trzecim.

Przy pomocy tych praw możemy już bez dalszych badań określić nowe ilości wymieralne; skoro bowiem pewne ilości pozostają zawsze w tym samym związku z pewnymi innymi, tj. skoro jedne są pewnymi funkcjami drugich, możemy całym tym kombinacyom czyli funkcjom nadać te lub owe nazwy, a tem samem otrzymamy już określenia nowych ilości wymierzalnych. Tak np., skoro określiliśmy już ilości: „ciężar danej porcyi wody“ i „objętość“ tejże i przekonaliśmy się, że ilości te są zawsze do siebie proporcjonalne, możemy bez dalszych badań określić „gęstość wody“ jako stosunek ciężaru do objętości. Z punktu widzenia logicznego są to określenia czysto słowne, lecz są pomimo to ważne, o tyle mianowicie, iż zwracają uwagę naszą na to, że pewne kombinacye (funkcye) znanych już ilości mają ciekawe jakieś własności.

Z ilości elektrycznych, określonych w ten właśnie sposób, dość będzie przytoczyć tu jedynie potencyał elektryczny. Jeżeli dwa ciała naładowane elektrycznością jednego rodzaju łączymy drutem, jedno z nich naogół traci, drugie zaś zyskuje pewną ilość elektryczności; na mocy jednak dotychczasowych naszych wiadomości nie umielibyśmy powiedzieć, które zyskuje, a które traci; zyskuje niekoniecz-

nie to, które mniejszą posiada ilości elektryczności. Otóż, „potencjał elektryczny“ jest taką właśnie ilością, że z dwóch ciał naładowanych, połączonych ze sobą drutem, to traci elektryczność, które ma wyższy (większy) potencjał: jak się okazało, nowa ta ilość zależy tak od ładunku ciała, jak też od jego kształtu, rozmiarów i położenia względem innych ciał. Możliwy ją wprowadzić jako naczelną ilość w nauce o elektryczności zamiast ładunku elektrycznego, gdyż i jej sposób określenia nasuwa nam teoria. Jeżeli dwa naczynia zawierające wodę połączymy rurą, woda płynąć będzie z tego naczynia, w którym panuje wyższe ciśnienie; potencjał więc elektryczny przedstawia analogię do ciśnienia płynu, analogię, którą warto zapamiętać.

17. **Elektrostatyka.** — Nie odpowiadałoby celom naszym, gdybyśmy tu głębiej wniknąć chcieli do „elektrostatyki“, — jak nazywa się ta gałąź nauki o elektryczności, której dotknęliśmy powyżej. A przecież dotarliśmy zaledwie do punktu, od którego dzieło przeznaczone dla specjalistów rozpoczęłoby się dopiero. Dzieło takie składałoby się z dwóch części. W części pierwszej mielibyśmy wnioski logiczne z wygłoszonych powyżej praw; zadanie ogólne po-

legałoby na wyznaczeniu z danych wartości pewnych ilości elektrycznych dla układu ciał o znanych rozmiarach, kształtach i położeniu, pewnych innych ilości elektrycznych dla tegoż układu. Zagadnienie to dałoby początek dyskusyom nader ciekawym z punktu widzenia matematycznego i byłoby ważne dla drugiej części podobnego traktatu, która polegałaby mianowicie na opisach różnych urządzeń eksperymentalnych opartych na wynikach owej dyskusyi, urządzeń i aparatów, mających na celu sam pomiar ilości elektrycznych. Lecz żaden z tych wywodów nie zdołałby prawdopodobnie zająć szerszego koła czytelników; dlatego to przejdę wprost do nowego zupełnie szeregu zjawisk, prowadzących do sformułowania nowych praw i do rozwinięcia nowych teoryi.

ROZDZIAŁ III.

Elektromagnetyzm.

18. **Prawa podstawowe.** — Jeżeli w rozcieńczonym kwasie siarkowym zanurzymy płytę z czystego cynku i płytę z czystej miedzi tak aby nie dotykały się wzajemnie, nie zajdzie żadna zmiana. Jeżeli jednak płyty te stykają się wzajemnie lub też są połączone drutem metalowym, zachodzą zmiany chemiczne: cynk stopniowo rozpuszcza się w kwasie, jednocześnie zaś wodór gazowy, powstały z rozkładu kwasu (a raczej wody zakwaszonej), wywiązuje się na powierzchni płyty miedzianej. Jednocześnie też spostrzedz się dają zmiany w drucie łączącym płyty; ogrzewa się on, a igła magnetyczna, zawieszona jak w zwykłym chociażby kompasie i zbliżona do drutu, odchyła się od zwykłego swego kierunku południowo-północnego, starając się ustawić prostopadle do drutu. Zmiany chemiczne nie ustają i odchylenie igły trwa dopóty, dopóki drut jest nieprzerwany i do-

póki cynk nie rozpuści się całkowicie ; zjawiska te znikają natomiast, skoro tylko drut przerwiemy.

Ktokolwiek bawił się choćby tylko nauką, zna te fakty i wie nawet, że zjawiska te są uważane za „elektryczne“; byłby jednak w kłopotcie, gdyby go zagadnięto, dlaczego uważa je właśnie za elektryczne, lub też poproszono o poparcie tego poglądu. Zobaczmy tedy, jakie jest właściwe znaczenie takiego twierdzenia i co dla poparcia go przytoczyć należy.

19. Elektryczność „przez tarcie“ i „voltaiczna“. — Twierdzenie to wyraża oczywiście, że nowe te zjawiska mają coś wspólnego z temi, które opisaliśmy i zbadaliśmy w poprzednim rozdziale, lecz nie są prosto ich przypadkiem szczególnym. Nowe prawa, wygłoszone przed chwilą, bynajmniej nie dają się wyprowadzić z praw poprzednich, zawierają bowiem pojęcia, jak np. magnezu, o których dotąd nie było nawet mowy. Owszem, widzieliśmy, że dopóki ograniczyliśmy się do ustanawiania praw, niepotrzebne nam były takie nawet terminy jak „elektryczność“ lub „elektryczny“; te stały się niezbędne wówczas dopiero, gdy chodziło o rozwinięcie teorii mającej prawa te wyjaśnić. Twierdzenie, jakoby nowe zja-

wiska nasze były elektrycznemi, musi mieć związek jakiś z teorią ostatniego rozdziału, a nieco zastanowienia przekona nas, że ma ono wyrażać, iż nowe prawa można wyjaśnić przez samą tę teorię albo też przez pewne proste jej rozwinięcie, tak iż obie grupy praw dają się ogarnąć w jedynej teorii elektryczności.

Nie uważanoby jednak nowych tych zjawisk za elektryczne, gdyby nie spostrzeżono pewnego pierwiastka wspólnego samym tym grupom praw, gdyby nie było ważnego jakiegoś działania wchodzącego w treść jednej i drugiej grupy praw. Działanie to, które w historycznym biegu rzeczy istotnie nasunęło po raz pierwszy myśl o związku tych praw, nie obchodzi nas tu bliżej; gdyby jednak znane były same tylko fakty, opisane powyżej, związek między dwiema grupami zjawisk mógłby się już nasunąć dzięki temu chociażby, że w obu grupach odróżniają się jednako role ciał stałych metalicznych i nie-metalicznych. Gdybyśmy mianowicie zastąpili drut metalowy łączący płyty nasze przez drut z jednej z owych substancji, które w elektrostatyce nazwalibyśmy nieprzewodzącemi, natenczas, *caeteris paribus*, znikłyby wszystkie te osobliwe zjawiska, o których wspomniano na początku niniejszego rozdziału. Podział substancji na dwie

klasy [przewodników i nie-przewodników] jest, co do ogólnych zarysów, w obu grupach zjawisk jeden i ten sam.

Ten to fakt nasuwa nam pierwszą myśl, iż teoria elektryczności rzucić może pewne światło na nowe nasze zjawiska. Teoria ta wskazuje na analogię między różnicą dwóch klas substancji z jednej — a różnicą ciał wydrążonych i pełnych, co do ruchu płynów, z drugiej strony. Własności rury wydrążonej są nieco różne, zależnie od tego, czy płynie przez nią prąd cieczy czy też nie, a tu już łatwo nasuwa się myśl, aby różnicę własności ciał upodobnionych rurom, zależną od tego, czy łączą one płyty cynkową i miedzianą czy też nie, wyjaśnić przez obecność w nich prądu „płynu“ elektrycznego w pierwszym, zaś nieobecność w drugim przypadku. Istotnie też wyjaśnienie takie nasunęło się natychmiast niemal po odkryciu owych szczególnych własności drutu łączącego płyty „stosu voltaicznego“ (jak nazwano układ ów złożony z cynku, miedzi i kwasu rozcieńczonego), a przez wiele lat debatowano nad sprawą dostateczności tego wyjaśnienia pod postacią pytania: „Czy elektryczność przez tarcie i voltaiczna są teżsame?“

Z poprzednio podjętej analizy teorii elektrycznej widać, że ta właśnie forma pytania

nie byłaby pożądaną; narzuca nam bowiem zbyt gwałtownie myśl, jakoby obadwa gatunki elektryczności, woltaiczna i przez tarcie, były substancjami w tem np. znaczeniu co woda. Istotnie też pytanie to w powyższej postaci zrodziło mnóstwo zamieszania i zaciemniło istotę materiału dowodowego, jaki dla rozstrzygnięcia go należało przytoczyć. Obecnie wiemy, że acz w latach 1830-ych nikt nie wątpił, że odpowiedź brzmi twierdząco, doświadczenia istotnie dla otrzymania tej odpowiedzi niezbędne wykonano dopiero o pięćdziesiąt lat później i że same te doświadczenia podjęto właściwie gwoli innego zupełnie pytania, którego żaden uczony myślący logicznie nie postawiłby nigdy, gdyby mógł przypuścić, że na tamto pytanie już odpowiedziano. Dzieje teorii elektrycznej z początków dziewiętnastego stulecia znakomicie ilustrują, jak niebezpiecznie jest używać słów, nie zbadawszy uprzednio jaknajstaranniej ich znaczenia, — lecz łatwo jest być mądrym po szkodzie. [„Mądry Polak po szkodzie“.]

20. **Dowód tożsamości.** — Jeżeli elektryczność woltaiczna nie różni się niczem od elektryczności przez tarcie, natenczas znając zupełnie stan danego układu pod względem

elektryczności przez tarcie, powinniśmy go znać zupełnie również co do elektryczności woltaicznej. Otóż znajomość stanu układu co do elektryczności przez tarcie polegałaby na znajomości omówionego w poprzednim rozdziale ładunku (t. j. ilości elektryczności) dla każdej części układu dla wszelkich chwil czasu i względnych położeń tych części. Z drugiej strony, znać zupełnie stan układu co do elektryczności woltaicznej jest to znać wszystkie ilości związane z własnościami drutu (łączycego płyty stosu), ilość ciepła wywiązującą się w drucie, wielkość i kierunek sił działających na igłę magnetyczną w danem położeniu względem drutu, dalej ilość zużywającego się cynku oraz ilość wywiązującego się wodoru. Jeżeli wówczas elektryczność woltaiczna i przez tarcie są jednym i tem samem, jeden szereg tych ilości powinien być zupełnie określony przez drugi, znajomość jednego tylko szeregu ilości powinna wystarczać do wyznaczenia drugiego, zupełnie tak samo jak znajomość objętości, temperatury i gęstości gazu wystarcza do wyznaczenia jego ciśnienia.

Doświadczenia tedy, niezbędne do rozstrzygnięcia powyższego pytania, polegałyby na wyznaczeniu, dla wielu różnych stosów wolta-

icznych ilości elektrostatycznych dla każdej części stosu, z drugiej zaś strony takich ilości, jak siła (co do natężenia i kierunku) wywieranych na igłę magnetyczną, następnie zaś na dokładnem zbadaniu, czy między jednym a drugim szeregiem ilości zachodzą istotnie stałe związki. Badanie takie nie doprowadziłoby nas prawdopodobnie do pozytywnych wyników, gdybyśmy nie kierowali się pewnemi z góry urobionemi pojęciami co do istoty związków oczekiwanych; te bowiem mogłyby być niezmiernie zawile, tak iż niepodobieństwem byłoby odkryć je przez samo próbowanie. Lecz tu właśnie przychodzi nam znowu z pomocą teoria wraz z analogiami, które nam podsuwa. Gdyby chodziło o zbadanie związku między własnościami rury wydrążonej, przez którą płynie prąd wody, a stanem tej wody płynącej, przekonalibyśmy się łatwo, że najważniejsze ilości określone przez owe własności są związane w prosty sposób z takimi np. ilościami, jak szybkość prądu wody lub też ciśnienie, pod którym płynie. Wobec tego naturalną jest rzeczą szukać w pierwszym rzędzie związków między ilościami takimi, jak ciepło wywiązujące się w drucie, określone przez własności drutu, a takimi, jak szybkość [natężenie] prądu elektryczności

w drucie, t. j. ilość elektryczności ubywająca jednej i przybywająca drugiej płycie w ciągu danego czasu, np. w ciągu jednej sekundy. Szybkość ta przepływu elektryczności zależy będzie oczywiście od potencjałów elektrycznych płyt, które drut łączy ze sobą, i z góry spodziewałyby się można, że pomiary tej ilości pierwszorzędne posiadają znaczenie dla całego badania *.

Dotyczące obserwacje są niezmiernie trudne

* Dotychczas niczego wprawdzie nie powiedzieliśmy o potencjale elektrycznym płyt; rozumie się jednak samo przez się, że jeżeli słusznym jest pogląd, iż osobliwe własności drutu powstają dzięki „przejściu prądu elektryczności“, między płytami panować musi różnica potencjałów; elektryczność bowiem przechodzi z jednego ciała na drugie wówczas tylko, gdy potencjały ich są różne. Stwierdzenie doświadczalne różnicy potencjałów płyt uważano w zaraniu nauki o elektryczności za dowód niezawodny tożsamości obu gatunków elektryczności, „voltaicznej“ i „przez tarcie“; dowód ten atoli nie jest zupełny, dopóki nie okażemy, że ilości voltaiczne są całkowicie wyznaczone przez ilości elektrostatyczne. Usprawiedliwienia odpowiedzi twierdzącej nie należy upatrywać w samym fakcie istnienia różnicy potencjałów, lecz w tym dopiero fakcie, że ilekroć różnica potencjałów elektrycznych i wszystkie pozostałe ilości elektrostatyczne są te same, ciepło wytwarzające się w drucie, siły wywierane na igłę i t. d., również są te same.

do wykonania, gdyż wartości ilości elektrostatycznych w układach takich, w których własności stosu voltaicznego przejawiają się najwyraźniej, są albo o wiele większe albo też o wiele mniejsze niż wartości tychże ilości dla układu, który najdobitniej wskazuje zjawiska elektrostatyczne opisane w poprzednim rozdziale, — tak iż trudno jest mierzyć je w obu przypadkach tą samą metodą, zupełnie tak samo, jak trudno byłoby zmierzyć dokładnie, jedną i tą samą metodą średnicę kropli wody i średnicę kuli ziemskiej. Bądź co bądź jednak trudności te pokonano a otrzymane wyniki dowiodły najzupełniej tożsamości elektryczności „voltaicznej“ i elektryczności „przez tarcie“. Przekonano się, że ilość wytwarzającego się w drucie ciepła jest zupełnie określona przez iloczyn dwóch ilości elektrostatycznych: ilości elektryczności, która przepłynęła wzdłuż drutu z jednej płyty na drugą i różnicy potencjałów elektrycznych panujących na końcach drutu, — że wielkość sił wywieranych na igłę określa się całkowicie przez szybkość, z jaką elektryczność płynie w drucie (czyli przez t. zw. natężenie prądu), że wreszcie ilość cynku zużytego lub wodoru wyswobodzonego jest zupełnie określona przez

całkowitą ilość elektryczności, która przepłynęła wzdłuż drutu. Gdy te dopiero poczyniono odkrycia, wolno było posługiwać się własnościami stosu voltaicznego dla pomiaru ilości elektrostatycznych. Obecnie można np. mierzyć szybkość przepływu elektryczności przez drut (czyli krótko „prąd w drucie“) przez dostrzeżenia sił wywieranych na igłę magnesową; istotnie też, w praktyce dzisiejszej metody takie powszechne znajdują zastosowanie; przed dokonaniem atoli wspomnianych obserwacyi nie możnaby ich było usprawiedliwić.

21. Wnioski z powyższego utożsamienia. — Dwa z identyczności powyższej płynące wnioski na szczególną zasługują uwagę.

Po pierwsze, ponieważ ilość całkowita elektryczności w układzie odosobnionym (jak np. w opisanym stosie voltaicznym) jest stała, przeto elektryczność płynąca wzdłuż drutu od jednej płyty nie może zniknąć po drodze do drugiej płyty; musi ona pozostać w drugiej płycie albo też na innej jakiejś drodze wrócić do punktu wyjścia. Doświadczenie stwierdza ostatnią alternatywę: elektryczność wraca przez ciecz, w której zanurzone są płyty, a ciecz ta, przy bliższem badaniu, objawia też

wszystkie szczególne własności drutu, o jakich była mowa.

Po drugie, wspomnieliśmy, że siły wywierane na igłę zależą jedynie od natężenia prądu elektrycznego, płynącego wzdłuż drutu od jednej do drugiej płyty, od kształtu drutu i od położenia igły względem niego. Można jednak przenieść elektryczność z jednej płyty na drugą, nie łącząc ich drutem, lecz wprowadzając szereg ciał w zetknięcie z jedną płytą i przenosząc je w przestrzeni aż do zetknięcia z drugą płytą [nazywa się to *k o n w e k c y ą* elektryczności]. Jeżeli ciała te są niewielkie, jeżeli droga, po której się posuwają, biegnie wszędzie wzdłuż pierwotnego położenia drutu i jeżeli ilość elektryczności, którą wszystkie te ciała w ciągu pewnego czasu otrzymują od jednej płyty i oddają drugiej, jest równa tej, która w tymże czasie przepłynęłaby przez drut, natenczas szereg ten poruszających się ciał jest zupełnie podobny do drutu, co do prądu elektrycznego wzdłuż danej drogi. Jeżeli więc powyższa teoria tożsamości (elektryczności woltaicznej i przez tarcie) jest słuszna, sznur tych ciał w ruchu powinien wywierać na igłę magnesową te same zupełnie siły, co drut, który zastępują. W przeciwnym bowiem razie siły wywierane na igłę byłyby wyzna-

czone przez ilości różne od elektrostatycznych, tak iż elektryczność voltaiczna nie byłaby „tą samą rzeczą“ co elektryczność przez tarcie. Otóż za pomocą pewnych subtelnych doświadczeń* wykazano istotnie, że dwa te sposoby przenoszenia elektryczności [przewodzenie i konwekcyja] są sobie równoważne, a wynik ten nabrał pierwszorzędnej wagi dla nowoczesnego zwłaszcza rozwoju teoryi elektrycznej.

Jedno jeszcze, nie dotknięte dotąd pytanie mogłoby niepokoić czytelnika; tożsamość elektryczności przez tarcie i voltaicznej, roztrząsaliśmy, nie licząc się zgoła z tem, że teorya nasza elektryczności przez tarcie wymagała dopuszczenia dwóch rodzajów „pływu“. Z którym więc z tych jest elektryczność voltaiczna tożsamą? Zjawiska dotąd rozważone nie mogą dać nam na pytanie to żadnej odpowiedzi. Bez treści byłoby obecnie pytanie, czy przy połączeniu drutem ciała A naelektryzowanego dodatnio z ciałem B naelektryzowanym ujemnie, prąd elektryczności polega na przejściu

* Znanych jako doświadczenia Rowlanda, wykonanych poraz pierwszy przed kilkudziesięciu laty z inicjatywy Helmholtza przez Rowlanda z Baltimore i powtórzonych bardzo starannie w ostatnich czasach przez Pendera i Crémieu w Paryżu. *Przyp. red.*

elektryczności dodatniej od A do B czy też elektryczności ujemnej od B do A lub po części na jednym, po części na drugim. Termin bowiem „prąd elektryczności“ w takim tylko razie posiada jakieś znaczenie, gdy goździmy się na teorię elektryczności, ta zaś teoria, jak dotąd, orzeka stanowczo, że dwa rodzaje przepływu są nicodróżnialne od siebie, że niema zjawiska, które należałoby przypisać raczej stracie elektryczności dodatniej, niż zyskowi ujemnej. Prawda, że teoria ta nasuwa domysł możliwego zjawisk takich odkrycia, — a domysł ten ziścił się nawet; lecz rozważenie zjawisk takich, na których oparto nowoczesną teorię elektryczności [teorię elektronową], wykraczałoby już poza granice, któreśmy sobie wytknęli.

22. Teorya Ampère'a. — Prawa podane na str. 61. nie zawierają jeszcze wszystkiego, co wiadomo o skutkach przepływu prądu elektrycznego. Każde z nich poddano daleko idącym badaniom, których wyniki w tej chwili nas nie obchodzą; tylko jednym z nich zajmiemy się nieco szczegółowiej. Ogrzewanie drutu posiada olbrzymie znaczenie techniczne, lecz badanie zjawiska tego nie dało wyników o znaczeniu teoretycznem, aż do-

piero przy rozwoju pojęć najświeższej zupełnie daty. Badania nad zmianami chemicznymi, rozpuszczaniem się cynku i wywiązywaniem się wodoru, dały początek nowej nauce, która wpłynęła nie mniej na chemię niż na fizykę, lecz sprawy te znowu wykraczają poza ramy naszego tematu. Nie możemy natomiast posunąć się naprzód, jeżeli nie wspomnimy nieco jeszcze o działaniu prądu na igłę magnesową.

Igła ta zostaje, oczywiście, odchylona nietylko przez prąd płynący w drucie lecz również przez inny zbliżony do niej magnes. [Pamiętajmy, iż sama „igła“ jest też małym magnesem.] Badania nad zależnością odchylenia igły od kształtu obwodu prądu (drutu) oraz natężenia tego prądu doprowadziły Ampère'a do prawideł, według których można było wyznaczyć kształt magnesu równoważnego danemu obwodowi prądu co do działania na igłę magnesową. Otóż, skoro dwa obwody prądu są równoważne dwóm magnesom co do ich działania na igłę magnesową, przez analogię nasuwa się domysł, że powinny one też być równoważne tymże dwóm magnesom pod względem wzajemnego ich na siebie działania, że więc dwa takie obwody powinny działać na siebie podobnie, jak dwa magnesy. Istotnie

też okazało się, że co do wszelkich działań* każdy obwód prądu daje się zupełnie zastąpić przez odpowiedni magnes i odwrotnie, każdy magnes przez odpowiedni obwód prądu. Znaczna część podręczników fizyki jest poświęcona dyskusji prawideł Ampère'a i zastosowaniu ich do wyznaczenia w rozmaitych przypadkach, ważnych technicznie lub teoretycznie, sił działających 'między magnesami a obwodami prądu, lub też między jednym a drugim obwodem prądu.

23. **Pogląd energetyczny.** — Rozważmy stosunki te z innego punktu widzenia. Jeżeli końce drutu przyczepimy do płyt stosu, tak iż płynie przezeń prąd, natenczas magnes znajdujący się w pobliżu będzie miał dążność do ruchu. Powstaje pytanie, czy istnieje też działanie „odwrotne“, polegające na wzbudzeniu prądu w drucie przez ruch pobliskiego magnesu. Aby jednak zrozumieć, co znaczy działanie „odwrotne“, i dlaczego w ogóle mamy się go spodziewać, musimy wpleść tu

* Ściślej: co do wszelkich działań zewnętrznych, nie zaś co do „pola magnetycznego“ wewnątrz samego drutu, w którym płynie prąd elektryczny.

kilka krótkich bardzo i niezupełnych uwag należących do nauki o energii.

Badając zmiany w jakimkolwiek układzie ciał, spostrzegamy, że zmianie zachodzącej w jednym z tych ciał towarzyszy zazwyczaj zmiana w jakimś innym ciele. W naszym przypadku, zmiana położenia magnezu zachodzi wówczas tylko, gdy są zmiany w cynku, wchodzącym w skład stosu; podobnie też niema zmian w cynku bez zmian w położeniu magnezu. Owóż, każdej z powiązanych ze sobą w ten sposób zmian, po należytem jej zbadaniu, użyć można dla określenia różnych wymierzalnych wielkości, a wówczas wielkości te będą ze sobą związane tak, iż wartość jednej może zmieniać się tylko wraz z wartością drugiej. Nietrudno jest zbudować określenia te w taki sposób, że gdy wartość jednej wzrasta, wartość drugiej maleje jednocześnie. Dalej (a ten właśnie punkt jest zasadniczo ważny), z pośród tak powiązanych ze sobą wielkości znaleźć się daje zazwyczaj taka para wielkości, iż przyrost wartości jednej równa się ubytkowi drugiej. Takie to ilości, o ile znaleźć się dają, nazywają się „energiami“, a z powyższego określenia energii wynika natychmiast, że suma wartości energii dla wszystkich ciał układu jest zawsze ta sa-

ma; przyrostowi bowiem energii jednego ciała towarzyszy z konieczności równa strata energii drugiego ciała. Częstokroć spotykane orzeczenie, że „energia całkowita jest stała lub zostaje zachowana“, jest truizmem; ważnem raczej jest twierdzenie, że istnieją wogóle ilości takie jak „energia“.

Jeżeli jednak ilości takie istnieją, rozumie się samo przez się, że skoro odwrócimy co do kierunku jedną z odpowiednich zmian, druga również odwrócić się musi; jeżeli bowiem zmiana w jednym kierunku idzie w parze ze wzrostem określonej przez nią ilości, zmiana w kierunku odwrotnym towarzyszyć będzie zmniejszanie się tejże ilości. Ponieważ zaś jednym z głównych artykułów wiary fizyka jest to, że uda mu się zawsze, dla każdej zmiany, określić pewną ilość wyposażoną we własności energii, (nie pokusimy się tu o zbadanie podstaw tej jego wiary), musi on koniecznie oczekiwać w każdym przypadku zmiany „odwrotnej“.

Jeżeli pewna zmiana w danem ciele z A na A' wywołuje zmianę w drugim ciele z B na B' , oczekuje fizyk nasz, że jeżeli przeprowadzimy, przy odpowiednich warunkach, drugie ciało ze stanu B' do stanu B ,

pierwsze też ciało wróci jednocześnie ze stanu A' do stanu pierwotnego A .*

24. **Indukcja prądów.** — Owe „warunki odpowiednie“ w zajmującym nas przypadku łatwo znaleźć się dają i prowadzą też istotnie do wyników, jakich na mocy rozważań energetycznych oczekiwać było można. Weźmy drut zgięty w koło i umieśćmy w pewnym punkcie blisko niego swobodnie zawieszoną igłę magnesową, tak aby oś jej była równoległa do drutu w tym punkcie. Przetnijmy następnie drut nasz i przyczepmy końce jego do jednej i drugiej płyty stosu woltaicznego; wówczas płynąć w nim będzie prąd, a igła

* Zastrzeżenie „przy odpowiednich warunkach“ jest pierwszorzędnej wagi; łatwo bowiem zdarzyć się może (i zdarza się też zazwyczaj), że zmianie odwrotnej ciała drugiego z B' na B towarzyszy zmiana stanu trzeciego jakiegoś ciała, które nie doznało żadnej zmiany podczas zmian pierwotnych z A na A' i z B na B' . W takim przypadku energetyka nie każe nam oczekiwać, że zmianie odwrotnej z B' na B towarzyszyć będzie zmiana odwrotna $A' \rightarrow A$; należy tu bowiem uwzględnić również zmianę energii skojarzonej z owym trzecim ciałem. Jeżeli jednak znaleźć można warunki, w których zmianie $B' \rightarrow B$ towarzyszy zmiana w pierwszym ciele i w żadnym innym oprócz tego, wówczas zmiana ta będzie $A' \rightarrow A$.

ustawi się osią swą prostopadle do drutu; odłączmy teraz końce drutu od płyt i połączmy je znowu ze sobą. Zaszły tu dwie zmiany: przez drut przepłynął pewien prąd oraz igła zmieniła swe położenie. Energietyka każe nam przypuścić, że gdybyśmy przy odpowiednich warunkach przywrócili igle jej położenie pierwotne, wywołałibyśmy przez to prąd w drucie w kierunku przeciwnym do poprzedniego. Warunków tych łatwo dopiąć można; dość jest obrócić igłę wstecz ręką, aby otrzymać istotnie prąd płynący przez drut w kierunku odwrotnym. Z ogólnikowych tych warunków niełatwo byłoby przepowiedzieć, jakim dokładnie będzie prąd w drucie, skoro poruszmy igłę; szczegółowsze atoli zbadanie sposobu działania prądu na igłę umożliwiałoby przepowiednię taką w zupełności. Istotnie, okazało się, że pewna zmiana w położeniu igły sprawia przejście pewnej ilości elektryczności wzdłuż obwodu drucianego; natężenie prądu i czas jego trwania zależą między innymi, od własności drutu, lecz dopóki tylko położenia początkowe i końcowe igły względem drutu będą te same, całkowita ilość przepływającej w drucie elektryczności będzie ta sama. Jeżeli igłę lub ogólniej magnes jednocześnie tylko przeniesiemy z jednego położe-

nia do drugiego, prąd w drucie będzie krótkotrwały; podtrzymując atoli w należyty sposób ruch magnesu, można również uzyskać prąd ustawiczny.

Oto jest owa zmiana „odwrotna“, której oczekiwaliśmy, a posiada ona doniosłe znaczenie techniczne; dynamo-maszyny bowiem składają się poprostu ze zwojów drutu, obok których poruszają się magnesy w sposób taki, iż dają prąd nieprzerwany. Tu jednak działanie to obchodzi nas bliżej z innych punktów widzenia.

Możnaby zapytać, czy polega ono na samym ruchu igły, czy też zachodzi dzięki temu, iż ruch jej zmienia siłę, którą igła wywiera na magnes równoważny prądowi płynącemu w drucie. Aby na pytanie to odpowiedzieć, zastąpmy igłę magnesową przez równoważny jej obwód prądu; wówczas będziemy mogli wywołać zmianę siły wywieranej na nasze koło druciane bądź to przesuwając ów obwód, bądź też zmieniając natężenie płynącego w nim prądu. Okazuje się, jak z góry możnaby oczekiwać, że tak jeden jak drugi proces wywołuje czasowy przepływ elektryczności w kole drucianem, a na podstawie dalszych badań orzec można, że całkowita ilość elektryczności przeniesiona w tym prądzie czasowym wzdłuż

koła, zależy jedynie od samej zmiany sił magnetycznych wywieranych przez magnes na koło, lecz nie od sposobu, w jaki zmiany tej dokonano.

25. **Bezwładność elektryczna.** — Doszliśmy tedy do ważnego wyniku, że można wzbudzić prąd w jednym obwodzie, zmieniając prąd płynący w innym, pobliskim obwodzie, — działanie zwane technicznie *indukcją prądu*. Tu zaś nasuwa się dalsze znowu pytanie: Skoro zmiana prądu płynącego w jednym obwodzie wywołuje zmianę prądu w sąsiednim obwodzie, czyż nie może ona wywołać również zmiany prądu we własnym obwodzie? Domyśl taki przestanie nas dziwić, skoro uprzytomnimy sobie, że jako skutku danej zmiany prądu można oczekiwać jedynie powstania prądu czasowego polegającego na przepływie danej ilości elektryczności dookoła obwodu; innymi słowy, spodziewane zjawisko byłoby czemś dotyczącem jedynie prądu w ciągu krótkiego odstępu czasu po zajściu zmiany. Przy starannem rozważeniu sprawy okazuje się, że jeżeli jakaś zmiana prądu w danym obwodzie indukuje (wzbudza) w nim zmiany tegoż rodzaju co w innych obwodach, natenczas wszelka zmiana warunków obwodu dą-

żąca do wywołania zmiany prądu w tymże (jak np. przecięcie drutu, które ostatecznie zakończyć się musi ustaniem prądu), nie spowoduje tej zmiany prądu natychmiast, lecz dopiero po pewnym przeciągu czasu, niezbędnym mianowicie dla przejścia całej ilości indukowanej elektryczności dookoła obwodu; w tym to przeciągu czasu prąd stopniowo przechodzi od natężenia odpowiadającego pierwotnym warunkom do natężenia, które odpowiada nowym warunkom.

Skutek ten dostrzeżono też istotnie. Jeżeli końce drutu nagle odłączymy od płyt stosu i zetkniemy je ze sobą, zobaczymy, że po pewnym okresie czasu w drucie tym niema żadnego zgoła prądu. Gdybyśmy jednak zbadali go w ciągu bardzo krótkiego czasu następującego tuż po odłączeniu końców od płyt przekonaliśmy się, że prąd nie ustaje natychmiast, lecz że spada stopniowo od pewnej wartości początkowej aż do zupełnego zaniku w ciągu pewnego czasu, zależnego od kształtu, materiału drutu i t. d.

Zauważmy, że na myśl o istnieniu zjawisk takich naprowadza też nasza teoria elektryczności bez względu na zjawiska magnetyczne i bez pomocy energii; nasuwają się one przez sam już fakt, że dla wyjaśnie-

nia pewnych praw uciekliśmy się do analogii płynu, — a treść domysłu byłaby nawet taka sama, niezależnie od istoty praw w ten sposób wyjaśnionych. Istotnie upodobniliśmy działania, zachodzące wówczas, gdy drut łączy płyty stosu voltaicznego, z działaniem prądu wody pędzonej wzdłuż zamkniętego kanału, za pomocą pompy (odpowiadającej stosowi) umieszczonej w danym jego punkcie. Otóż, skoro zatrzymamy pompę, prąd wody nie ustanie natychmiast, lecz maleć będzie stopniowo aż do zaniku.

Własność tę wody wyrażamy, mówiąc, iż posiada ona bezwładność (inercję), i korzystamy z niej dla określenia nader ważnej ilości zwanej „masą” wody. Otóż, przez analogię nasuwa się domysł, że przepływ elektryczności powinien również zamierać stopniowo a nie maleć nagle, gdy usuwamy stos, — a domysł ten sprawdza się, jak widzieliśmy.

Możemy rezultat ten wyrazić, mówiąc, że elektryczność posiada bezwładność*, i mo-

* Z całą atoli ostrożnością, niezbędną w interpretacji podobnych orzeczeń co do pojęć wchodzących w skład teorii.

glibyśmy wobec tego starać się określić ilość, którą nazwalibyśmy „masą elektryczności“.

Niestety jednak wysiłki nasze w tę zwróconą stronę nie cieszyłyby się zupełnem powodzeniem; nie udałoby się nam określić takiej ilości, która — jak w przypadku wody — zależałaby jedynie od ilości elektryczności płynącej wzdłuż obwodu i od niczego innego.

Możemy wprawdzie określić wielkość, która pod pewnymi ważnymi względami przypomina masę wody, różni się jednak od niej tem, iż zależy od kształtu obwodu i od jego stosunku do innych obwodów. Z tem wszystkiem jednak pojęcie bezwładności prądu elektrycznego ważne bardzo posiada znaczenie; odda nam też ono niepoślednie usługi przy dalszych wywodach teorii elektrycznej.

26. Zakończenie. — Na tem zakończyć możemy nasz przegląd „teorii elektryczności jako płynu“. Widzieliśmy, że wygłoszone na początku prawa dają się, co do głównych przynajmniej zarysów, wyjaśnić przez działanie dwóch płynów, którym przypisać można dwie grupy własności. Pierwsza grupa jest niezbędna dla wyjaśnienia praw elektro-

statyki, druga — praw „elektromagnetyzmu“, jak nazywa się dopiero co omówiony dział naszego przedmiotu. Widzieliśmy, że przy rozważaniu każdego nowego prawa domysły nasuwające się przez analogię, na której oparła się teoria, pozwoliły nam naogół wyobrazić sobie nową własność, którą należało przypisać płynowi w celu wyjaśnienia tego prawa; jednocześnie atoli widzieliśmy, że nie wszystkie domysły nasuwające się przez analogię były słuszne, to zaś ostrzegło nas przed niebezpieczeństwem ślepej wiary w takie domysły niepoparte ogólną próbą doświadczenia.

Obecnie teoria ta jest zakończona; płynom owym nie można już z korzyścią żadnych dalszych przypisać własności, które umożliwiłyby wyjaśnienie za pomocą teorii tej dalszych praw, — oprócz takich tylko własności, które byłyby niezgodne z przypisaniami płynom tym poprzednio. Wywody nowoczesnej teorii elektrycznej, która zachowuje pewne cechy teorii płynów a odrzuca pewne inne, nie wchodzą już w zakres niniejszego dziełka; obecnie przeto możemy przejść do rozpatrzenia teorii zasadniczo różnej od teorii płynów, którą pierwotnie stworzono w zastępstwie teorii płynów,

którą później jednak z nią połączono, stwarzając teorię [elektronową], — uwieńczoną w ostatnich latach tak ważnemi zdobyczami. Druga ta teoria skojarzyła się nierozdzielnie z nazwiskiem Faraday'a.

ROZDZIAŁ IV.

Teorya Faraday'a.

27. „Działanie na odległość“ a „pośrednicтво ośrodka“. — Teoryę Faraday'a przeciwstawia się czasami teoryi płynów, nazywając drugą teoryą „działania na odległość“, pierwszą natomiast teoryą „działania przez ośrodek“. Wystąpienie takie dało początek nieskończonym dyskusyom; filozofowie, zarówno amatorscy jak zawodowi, usiłowali dowieść przez wywody czysto transcendentálne, że jeden typ teoryi posiada przewagę nad drugim. Nasz atoli pogląd na znaczenie teoryi każe nam wszelkie takie argumenty odrzucić jako zgoła niemiarodajne dla nauki; jeżeli jeden typ teoryi ma jakąś przewagę nad drugim, musi to z tego jedynie dziać się tytułu, iż jeden wyjaśnia pewne prawa niewytłumaczalne za pomocą drugiego; jeden typ odrzucić można na korzyść drugiego li tylko na

mocy doświadczenia. Lecz jakież to są co do istoty swej doświadczenia, które w jakimkolwiek przypadku szczególnym rozstrzygnąć mogą między dwoma tymi typami teorii? Postarajmy się uprzytomnić to sobie na przykładzie.

Przypuszczano zawsze, że najbardziej charakterystycznym przypadkiem „działania na odległość“ jest ciążenie powszechne, że natomiast działanie lokomotywy na wagon jest typowem „działaniem przez ośrodek“. Nieco zastanowienia przekona nas, że odróżnienie na następujących polega faktach. Działanie grawitacyjne ciała A na ciało B zależy jedynie od własności tych dwóch ciał oraz od względnego ich położenia; jest natomiast niezależne od własności wszelkiego innego ciała, w szczególności zaś od ciał leżących między A i B . Działanie natomiast lokomotywy na wagon zależy nie tylko od własności maszyny i wozu, lecz również od własności ciał, znajdujących się między nimi; skoro usuniemy łańcuchy, które je łączą, zniknie wszelkie działanie. Jednem słowem teoria „działania na odległość“ wyraża, iż działanie wzajemne między dwoma ciałami jest niezależne od własności wszelkiego ciała trzeciego, podczas gdy teoria „działania przez ośrodek“ nasuwa myśl zależności od włas-

ności ciał leżących między temi, które na się działają.

28. **Odkrycie Faraday'a.** — Zanim jeszcze wysunięto ostatecznie na widownię teorię płynów elektrycznych, teoria ciężenia dobrze już była rozwinięta. Gdy spostrzeżono, że zależność sił między dwoma ciałami naładowanemi od wzajemnej ich odległości całkiem była podobna do zależności sił grawitacyjnych między dwoma ciałami a ich odległością wzajemną, powstała naturalna dążność do upodobnienia pod każdym względem działania elektrycznego działaniu grawitacyjnemu. Tak to, bez prób żadnych, przyjęto, że działanie elektryczne jednego ciała naładowanego na drugie jest niezależne od natury dzielącego je ośrodka, o ile ten, oczywiście, nie jest przewodnikiem, t. j. nie pozwala obu ładunkom zmieszać się ze sobą. Faraday dopiero po raz pierwszy poddał założenie to wątpliwości i świadomie wykonanym próbom doświadczalnym. Wziął dwa ciała naładowane i zbadał siły, jakie na się wywierają, to gdy oddzielone są od siebie powietrzem, to znowu — siarką lub innym jakimś nieprzewodnikiem. Spostrzegł, że działanie zmieniło się dzięki obecności siarki (zamiast powietrza), stąd zaś wywnioskował, że

działanie elektryczne nie może być działaniem na odległość.

O ile sądził, że odkrycie jego nie dało się z teorią płynów elektrycznych pogodzić, był w błędzie. Tak zwane *experimenta crucis*, które rozstrzygać mają pono raz na zawsze między teoryami współzawodniczącymi, są, jak owe „kanony indukcji“ i wiele innych rzeczy, myślaniami istniejącymi tylko w wyobraźni filozofów zgoła nieobeznanych z nauką*. Każdy niemal wynik doświadczalny pogodzić można z każdą niemal teorią, bylebyśmy tylko nie szczędzili hipotez pomocniczych; jedyną przytem kwestyą może być to, czy wprowadzanie tylu przypuszczeń warte jest zachodu. W naszym przypadku hipotezy dodatkowe, niezbędne do pogodzenia wyników Faraday'a z teorią płynów, są tak proste i oczywiste, iż mało kto chciałby się im oprzeć. Widzieliśmy, że teoria płynów wyjaśniała przyciąganie ciała nienaładowanego przez ciało naelektryzowane na mocy założenia, że pod wpływem ładunku różnoimienne elektryczności (płyny) w ciele

* Autor ma tu widocznie na myśli ów, najliczniejszy może, gatunek „filozofów“ w złem znaczeniu słowa.

Przyp. red.

nienaładowanem oddzielają się od siebie i skupiają w różnych częściach tego ciała. Gdy więc między dwa ciała naelektryzowane, A i B , wsuniemy płytę siarkową, rozmieszczenie obu elektryczności w siarce ulegnie zmianie; w nieobecności siarki na ciało B działała jedynie siła pochodząca od A ; dzięki obecności siarki mamy do siły tej dodać siłę, którą wywierają na B obie elektryczności w siarce; te bowiem, dzięki temu iż są rozdzielone, nie znoszą już wzajemnie swych skutków. Różnicę między siarką a powietrzem przypisać można bądź to różnym ilościom przeciwnych elektryczności, zawartych w tych ośrodkach, bądź też mniejszej lub większej łatwości, z jaką ładunek zewnętrzny sprawia ich rozdział. Istotnie też okazać można, że wyjaśnienie to najzupełniej wystarcza; czyniąc należyte przypuszczenia co do elektryczności zawartych w siarce i w powietrzu, możemy wszystkie skutki, wynikające z zastąpienia pierwszej przez drugie, wyprowadzić z teorii płynów elektrycznych, a więc teorii opierającej się na założeniu, że siły między dwoma ładunkami zależą jedynie od wielkości i od wzajemnej odległości tychże, t. j. ostatecznie na założeniu „działania na odległość“.

29. **Teorya Faraday'a.** — Przy takich to właśnie przypadkach, jak powyższy, warto jest zwrócić uwagę na to, że teorye ludzkie dwie posiadają strony: artystyczną zarówno jak logiczną. Gdyby Faraday, największy po wsze czasy geniusz fizyczny, chciał podtrzymać teoryę płynów elektrycznych, niechybnie spostrzegłby, prędzej niż kto inny, możliwość naszkicowanego powyżej wyjaśnienia. Lecz nie życzył sobie tego. Teorya owa nigdy nie zadowalniała jego zmysłu artystycznego, a fakty, które odkrył, skłoniły go do szukania innej teoryi i wskazały mu też, gdzie jej ma szukać. Naprowadziły go na myśl poszukiwania analogii dla różnicy między ciałem naładowanem a nie-naładowanem nie w dodaniu temuż ciału jakiejś obcej substancyi, lecz raczej w zmianie własności ośrodka, który je otacza.

Analogię nasunęły Faraday'owi owe desenie, które tworzą opiłki żelazne w pobliżu magnesu. Jeżeli na sztabę magnesową położymy poziomo kartkę papieru i nasypimy na nią garść opiłków żelaznych, te ułożą się w szereg linii zakrzywionych, biegnących od jednego bieguna magnesu do drugiego; jeżeli zamiast tych (różnoimiennych) biegunów jednego magnesu weźmiemy dwa podobne (jednoimienne) bieguny przynależne dwóm ma-

gnesom (a bieguny takie, jak wiadomo, odpychają się wzajemnie), natenczas opiłkiżnowu ułożą się w linie zakrzywione; w tym jednak przypadku linie wychodzące z jednego bieguna nie kończą się na drugim, ani też nie krzyżują się z liniami wychodzącymi z drugiego bieguna, lecz jedne i drugie wymijają się wzajemnie, wybiegając na bok. Prawa przyciągania i odpychania się między biegunami magnesów są te same co między ładunkami elektrycznymi, a przez nieznaczną modyfikację doświadczenia, mianowicie zastępując opiłki żelazne mieszaniną minii i siarki, otrzymać można podobny układ linii w dziedzinie rozłaczającej się między ładunkami elektrycznymi, jak poprzednio między biegunami magnetycznymi. Kształt tych linii jest wyznaczony przez warunek, że drobne ciało naładowane, umieszczone w dowolnym punkcie jednej z nich, będzie ustawicznie dążyło do ruchu wzdłuż tej linii (nie opuszczając jej) aż nie dotrze do ładunku przeciwnego albo też nie usunie się na znaczną odległość.

Jedyny rzut oka na deseń linii, odpowiadający dwóm przeciwnym, wzajemnie przyciągającym się biegunem nasunęło Faraday'owi myśl, że przyciąganie to możnaby wyjaśnić, zastępując w wyobraźni linie, czyli łańcuchy

opiłków żelaznych, przez napięte struny sprężyste, które starając skrócić się, ciągnęłyby jeden biegun ku drugiemu*. Dla wyjaśnienia zaś zakrzywionego kształtu tych linii wypadło mu przyjąć, że każda z tych strun, dążąca do skurczenia się w swym kierunku podłużnym, starała się jednocześnie zgrubieć w kierunkach bocznych i odepchnąć tym sposobem swe sąsiadki; ta własność dodatkowa tłumaczyła zarazem odpychanie się biegunów podobnych, czyli jednoimiennych. Oto myśl zasadnicza teoryi Faraday'a. Wyobrażał on sobie, że przyciągania i odpychania elektryczne (podobnie jak magnetyczne) zachodzą dzięki tym właśnie strunom, czyli „liniom siły“ — jak je nazywał; ciało naładowane było dlań ciałem, na którym linie takie kończyły się (lub zaczynały), ciała zaś dźwigające ładunki przeciwne były końcami przeciwnymi jednych i tych samych linii. Według teoryi tej różnica między ciałem naładowanem a nienaładowanem nie polega na jakiejś różnicy między sa-

* Przystępny a dość szczegółowy opis własności linii magnetycznych, kilka odpowiednich rysunków typowych ich układu oraz wiadomości o zasadniczych punktach teoryi Faraday'a znajdzie czytelnik w niewielkim tomiku L. Silbersteina, p. tyt. *Wstęp do dziedziny zjawisk elektromagnetycznych*, Część I: *Niezmiennne pole magnetyczne*. Warszawa, 1901. *Przyp. red.*

memi temi ciałami, lecz na obecności lub nieobecności linii siły łączących je z innymi ciałami. „Działanie na odległość“ zastąpił on w teorii swej „działaniem przez ośrodek“.

30. Własności „linii siły“. — Teorię tę można rozwinąć według tych samych punktów wytycznych, co dawniejszą; pierwszy krok polega na określeniu ilości wymierzalnych, a to w sposób przez nią podszeptwany. Teoria dawniejsza nasunęła „ilość elektryczności“ i „ciśnienie elektryczności“ [t. j. potencjał] jako ilości wymierzalne; do tejże roli nasuwa nam teoria Faraday'a „liczbę linii siły“ oraz ich „napięcie podłużne i odpychające ciśnienie poprzeczne“; dla tych też wielkości zbudowano zgodne w sobie określenia. Ponieważ dwa te szeregi wielkości (odpowiadające teorii płynów i Faraday'owskiej) są określone na tle tych samych obserwacji, musi oczywiście zachodzić między nimi pewien związek. Istotnie też okazuje się, że „liczba linii siły“ jest proporcjonalna do ilości elektryczności“ i że między „napięciem linii siły“ a „potencjałem elektrycznym“ zachodzi pewien, co prawda, dość zawyły związek. Według teorii Faraday'a możnaby się spodziewać, że napięcie wzdłuż każdej linii siły będzie niezależne

od obecności innych linii, lecz zależne od własnej jej długości*; niestety, domysł ten jest błędny (podobnie jak domysł co do „masy elektryczności“ w teorii płynów); bowiem napięcie wzdłuż linii siły jest właśnie od długości jej niezależne, od liczby natomiast innych, sąsiednich linii w istotny sposób zależy.

Zauważmy, że godząc się na nową teorię, żadnej zgoła nie moglibyśmy dać odpowiedzi na pytanie: „Co to jest elektryczność?“, teoria ta bowiem z pojęcia elektryczności żadnego nie czyni użytku. Samo to pytanie nasuwa już odpowiedź, że elektryczność jest jakąś substancją przelaną na ciała przejawiające te własności, na mocy których nazywamy je „naelektryzowanemi“, — podczas gdy teoria Faraday'a nie zgadza się wcale na to orzeczenie.

* Tak mianowicie byłoby, gdyby linia siły pod każdym względem przypominała strunę lub nić sprężystą; tej bowiem napięcie rośnie wraz z wydłużeniem. Tak w dawnej jak w Faradayowskiej teorii analogie są niezupełne. Powinno to służyć nam za przestrożę przy ocenie wszelkich wogóle analogii i modeli zjawisk. Ten lub ów model znakomicie ilustrować może pewne strony zjawiska, a być zgoła nieprzydatnym dla pewnych innych jego stron. Jeżeli jednak o tem pamiętać będziemy, każda niemal analogia może niespożyte oddać nam usługi, czy to w ujmowaniu zjawisk w obszerną całość, czy też w ich przewidywaniu. *Przyp. red.*

Teorya więc Faraday'a tłumaczy przyciąganie się ciał naładowanych przez napięcia i ciśnienia łączących je linii siły. Zmiana tego działania przy zmianie natury ośrodka, wypełniającego przestrzeń między ciałami, polegać ma na tem, że własności linii siły zależą od substancyi, którą przesywają. Napięcie linii siły zmienia się wraz z naturą nieprzewodnika, przez który przechodzą; w siarce np. napięcie jest mniejsze niż w powietrzu. W przewodniku linie siły wcale istnieć nie mogą; na ciele takim końce linii siły mogą się swobodnie ślizgać, podczas gdy w nieprzewodniku końce linii są unieruchomione; wobec tego, i dzięki napięciu podłużnemu linii, końce ich zbliżają się do siebie, tak iż linie zacieśniają lub zwężają się i zanikają.

31. Teorya Faraday'a a elektromagnetyzm. — Ten to proces zwężania się linii i ostatecznego ich zaniku, czyli zapadania się w substancję przewodnika wyobraża według teoryi Faraday'a to, co w dawniejszej nazywało się przepływem prądu elektryczności przez przewodnik; z tym też więc procesem kojarzyć wypada ogrzewanie się drutu i odchylenie pobliskiej igły magnesowej. Podczas procesu zapadania się części linii, które pierwotnie znaj-

dują się na zewnątrz przewodnika, wobec tego że ciśnienie dzięki zanikowi linii sąsiednich maleje, posuwać się będą prostopadłe do samych siebie, aż nie dosięgną przewodnika. Rozważając wielkość skutku magnetycznego w różnych okolicznościach (w których linia zapada się bądź to posuwając się prostopadłe do siebie bądź też nie posuwając się), przekonamy się, że igła magnesowa wówczas tylko doznaje odchylenia, gdy linie siły przechodzą obok niej poruszając się prostopadłe do siebie; jeżeli natomiast końce każdej linii zbliżają się do siebie, tak iż linia jako całość nie przesuwają się, lecz posiada tylko ruch wzdłuż samej siebie, nie zachodzi żadne działanie magnetyczne. Warto zauważyć, że wniosek ten możnaby wyprowadzić za pomocą wywodów energetycznych opartych na wspomnianym już fakcie, że napięcie linii nie zmienia się przy zmianie jej długości.

Skutki tedy magnetyczne, które dawniej przypisywano przepływowi elektryczności, należy teraz rzucić na karb ruchu linii siły w kierunku prostopadłym do ich długości, czyli krótko: ruchu poprzecznego. Tenże argument, który poprzednio skłonił nas do przypuszczenia, że elektryczność posiada masę, zniewala nas teraz do przypuszczenia, że linie

siły obdarzone są bezwładnością (czyli masą), o ile posiadają ruch poprzeczny, lecz nie, gdy posiadają ruch czysto podłużny, t. j. gdy posuwają się wzdłuż samych siebie. Doniosłość wyniku tego okaże się niebawem.

32. „Eter“. — Wypada nam teraz podkreślić pewną trudność dotyczącą zagadnień, których dyskusya zrodziła nieskończony szereg nieporozumień. Wspomniano już, że własności linii siły uważać musimy za zależne od natury substancyi, przez którą przechodzą. Otóż, stąd nasuwa się myśl, jakoby linie te składały się z tej substancyi, niejako podobnie jak fale morskie składają się z wody. Boć w jakiż inny sposób natura ośrodka miałaby wpływać na ich własności? Lecz oto przyciąganie (i odpychanie) elektryczne zachodzi wówczas nawet, gdy między przyciągającemi się ciałami żadnej niema substancyi, t. j. gdy umieszczamy je w najdoskonalszej próżni, jaką za pomocą naszych pomp pneumatycznych wytworzyć możemy. Z jakiej więc substancyi składają się w tym przypadku nasze linie lub rurki*

* Faraday używał terminu „l i n i a siły“ nie w znaczeniu linii geometrycznej, o grubości zero, lecz zamiast „r u r k i siły“ o skończonej grubości, t. j. dziedziny rurkowatej ograniczonej powierzchnią, utworzoną z geometrycznych linii

siły? Wszyscy, oczywiście, mają na to odpowiedź gotową. Linie siły, powiedzą nam, składają się z „eteru, owego ośrodka, który całą wypełnia przestrzeń i przez który przenosi się światło“. Taką też odpowiedź dałby nam Faraday, a posiada ona doniosłe znaczenie, daje bowiem jeszcze jeden powód do tego, abyśmy uważali za cenne te teorie światła, które posilkują się pojęciem eteru. Mimo chodem poprosiłbym jednak czytelnika, aby przypomniał sobie uwagi uczynione co do orzeczenia, że „elektryczność jest substancją“; inaczej mógłby bezwiednie pójść za podszeptem, że eter jest substancją. „Eter“, podobnie jak elektryczność, jest koncepcją teorii, nie prawa.

Przypatrzymy się jednak sprawie tej nieco bliżej. Jeżeli linie siły, przeszywające bryłę siarki, są z siarki, powinnyby się poruszać, gdy bryła ta jest w ruchu. Otóż, skoro linie

siły. Był indywidualny (że tak powiem) „linii“ lub rurek siły nie występuje zresztą tak wyraźnie w pismach Faradaya (słynnych *Experimental Researches*), jak u następców jego, zwłaszcza u J. J. Thomsona a również u autora niniejszej książeczki. Większość nowoczesnych elektryków zapatruje się na linie siły jako na „miejsca geometryczne“ czyli zbiory ciągle kierunków pewnych wektorów (siły elektrycznej, względnie magnetycznej), za którymi nie można nawet śledzić i n d y w i d u a l n i e.

Przyp. red.

te poruszają się, a końce ich są nieruchome, siła wypadkowa, wywierana przez nie na oba ciała, do których końce ich są przyczepione, zmieniałaby się co do kierunku, jeżeli nie co do wielkości; jeżeli wszystkie linie ciągniemy, wraz z siarką, w jedną stronę, siła na oba ciała w tę samą zwróci się stronę. W takim razie powinniśmy oczekiwać, że jeżeli przesuwamy obszerną płytę siarkową, umieszczoną między parą naładowanych ciał, kierunek sił wywieranych na każde z nich będzie się zmieniał. Doświadczenie atoli nie wykazuje żadnej takiej zmiany (skoro tylko płyta siarkowa dość jest obszerna, aby linie siły nie mogły się z niej wydostać); musimy tedy zgodzić się na to, że linie nie przesuwają się wraz z siarką, lecz pozostają na miejscu.

Aby trudność tę obejść, możnaby przypuścić, że linie, acz są z siarki, nie składają się zawsze z tych samych cząstek siarki (podobnie jak fale wodne nie składają się z tych samych zawsze cząstek wody), tak iż siarka mogłaby się poruszać nie ciągnąc za sobą linii siły. Lecz i ten wybieg okazuje się niemożliwym. Bowiem w inny jeszcze sposób sprawdzić możemy, czy linie się poruszają; widzieliśmy, że linie obdarzone ruchem poprzecznym wywołują odchylenie magnesu; jeżeli więc

linie nie biorą udziału w ruchu płyty siarkowej, nie powinno przy ruchu siarki nastąpić odchylenie magnesu. Otóż, z subtelnych doświadczeń okazało się, że przy ruchu siarki powstają pewne siły magnetyczne, jeżeli nawet ciała naelektryzowane, do których przyczepione są końce linii, pozostają w spoczynku. Podczas więc, gdy eksperymenty nad prostem przyciąganiem zdają się dowodzić, że siarka w ruchu nie ciągnie za sobą linii, owe doświadczenia magnetyczne wskazują, że przecie ciągnie je za sobą.

Dla zapobieżenia tej sprzeczności musimy zmienić nieco teorię linii siły, a mianowicie wrócić poniekąd do teorii płynów elektrycznych. Według teorii tej ciała naładowane miały wpływać na siarkę, rozdzielając zawarte w niej przeciwne elektryczności, i gdyby wpływ siarki na przyciąganie był znany w owym czasie, przypisanoby go temu właśnie rozdziałowi. Lecz na tle teorii Faraday'a rozdział elektryczności znaczy rozwijanie linii siły, łączących różnoimienne te elektryczności; zgodnie z tem możemy przypuścić, że linie siły, łączące zewnętrzne ciała naładowane, przechodząc przez siarkę, stwarzają w niej lub snują nowe linie siły. Ponieważ napięcie wzdłuż danej linii zależy od liczby linii przebiegają-

cych w pobliżu, przeto nowe linie zmieniają napięcie linii pierwotnych, tem samem zaś zmieniają wzajemne przyciąganie się ciał zewnętrznych. Gdy siarka się porusza, unosi ze sobą nowe linie, dając początek siłom magnetycznym; ponieważ jednak w miarę usuwania się tych linii powstają na ich miejscach nowe linie, przeto napięcie wzdłuż linii przynależnych ciałom zewnętrznym nie ulega ostatecznie żadnej zmianie. W ten to sposób wyjaśnić możemy fakt, że linie zawarte w siarce zdają się towarzyszyć jej w ruchu, podczas gdy własności linii pierwotnych pozostają bez zmiany.

Według poglądu tego nie mamy żadnej potrzeby przypuszczać, że linie przesywające siarkę „są z siarki“, ani też z czegokolwiek wogóle. Linie siły przyłączone do naładowanych ciał zewnętrznych są zawsze te same, niezależnie od tego, przez jaką przechodzą substancję, pozorna zaś różnica między liniami w siarce a liniami w powietrzu nie polega na odmiennych własnościach samych tych linii, lecz na różnych liczbach linii wtórnych, powstających w sąsiedztwie każdej linii pierwotnej. Że linie siły składają się z czegokolwiek wogóle, wolnoby nam powiedzieć wówczas tylko, gdybyśmy mogli sobie wyobrazić, że składają się to z czegoś, to z czegoś i n n e g o ;

linie siły są poprostu liniami siły, niezależnymi co do swego istnienia od żadnych ciał sąsiednich, i nic więcej o nich powiedzieć nie możemy.

Istotnie, skoro okazało się już, że linie siły przechodzące przez siarkę nie składają się z siarki, niema potrzeby, gdy linie przechodzą przez próżnię, wyobrażać sobie, że ta wypełniona jest jakąś nieważką substancją, z której linie miałyby się składać; innymi słowy, powyższa teoria elektryczna nietylko że nie daje nowego poparcia koncepcyi eteru wypełniającego całą przestrzeń, lecz wcale koncepcyi tej nie potrzebuje. Wystarcza jej najzupełniej pojęcie linii siły; tam gdzie niema tych linii, niema potrzeby, aby cokolwiek wogóle istniało.

Wszystkie te wywody wydać się mogą hyperkrytycznymi i niepotrzebnymi, lecz istotnie są bardzo ważne. Dopóki bowiem wyobrażaliśmy sobie, że linie siły przechodzące przez siarkę są z siarki, zaś biegnące w eterze — z eteru, fakt, że płyta siarkowa w ruchu, przy spoczywających ciałach naładowanych, dawała siły magnetyczne, fakt ten nasuwał myśl, że poruszając eter również powinniśmy otrzymać siły magnetyczne. Nie jest wprawdzie bezpośrednio jasnym, co znaczyć ma „ruch eteru“, lecz mnóstwo fizyków z przed lat dwu-

dziestu zużyło wiele czasu i pracy na urządzenie eksperymentów, za pomocą których spodziewali się, iż w ruch wprawiają eter względem ciał naelektryzowanych, t. j. że ruch taki zdradzi się w dostrzegalnych skutkach magnetycznych. Skoro zaś eksperymenty te nie dały im żadnych śladów siły magnetycznej, byli mocno zdziwieni i, aby niepowodzenie swe usprawiedliwić, jęli się najkunsztowniejszych hipotez. Obecnie jednak pojmujemy, że opierali się oni na błędnej zupełnie analogii*. Istotnie, wprawiając w ruch siarkę, otrzymaliśmy siły magnetyczne, dlatego że poruszały się przytem owe linie dodatkowe, wytworzone w siarce; w próżni linii takich niema, gdyż niema tu różnoimiennych elektryczności do rozdziału, tak iż według powyższych naszych wywodów nie można było wcale oczekiwać, aby którykolwiek ze wspomnianych eksperymentów miał dać siły magnetyczne. Analogia owa opierała się całkowicie na przypuszczeniu, że teoria Faraday'a obejść się nie może

* Nie chciałbym oczywiście powiedzieć przez to, aby korzystanie z błędnej analogii dowodziło słabości umysłu tych, którzy się nią posługiwali. Jak wspomniałem już, w nauce łatwo jest być mądrym po szkodzie, a nikt nie zdołał spostrzedz powyższych argumentów, aż nie poznano rezultatów, do których powinny były doprowadzić.

bez wszechbędącego eteru; tymczasem nie jest on jej wcale potrzebny. Linie siły, — nie z substancji ośrodka, który przesywają, — oto wszystko, czego jej trzeba.

33. Elektryczność i optyka. — A cóż ze światłem? Koncepcję eteru stworzono pierwotnie dla zjawisk optycznych; gdybyśmy zachowali ją dla tych a odrzucili dla zjawisk elektrycznych, zdawałoby się, że nadzieja, która wyrosła, gdy sądziliśmy, iż eter jest niezbędnym zarówno dla jednych i drugich zjawisk, nadzieja ustanowienia związku między temi dwiema gałęziami wiedzy nigdy już się nie ziści. Możemyż zarzucić eter dla zjawisk optycznych i te również zjawiska wytłumaczyć za pomocą pojęcia linii siły? Tak. Zjawiska optyczne można wytłumaczyć przez własności przypisywane liniom siły, zupełnie tak samo jak wytłumaczyliśmy zjawiska prądów elektrycznych przez własności płynu elektrycznego. Teorią, która daje to wyjaśnienie, jest słynna „teoria elektromagnetyczna światła“, rozwinięta na tle pojęć Faraday’a przez Maxwella. Dotąd właściwie nie widzieliśmy jeszcze, aby teoria Faraday’a posiadała jakąś istotną wyższość nad dawniejszą; istotnie, musieliśmy ją przekształcić, aby lepiej pogodzić ją z teorią płynów;

musieliśmy, bądź co bądź, wprowadzić znowu pojęcia zarzucone poprzednio. Teraz jednak wystąpi nareszcie wyższość teorii Faraday'a, a to dzięki rzetelnym przewidywaniom, na które rywalka jej nie mogłaby się zdobyć.

Zastanówmy się na chwilę, jak istnieć może elektryczna teoria światła. Na pierwszy rzut oka zdawałoby się niemożliwem ustanowienie jakiegokolwiek związku między zjawiskami optycznymi a elektrycznymi, między faktem, że widzimy barwy i kształty, a tym, że dwa potarte (jedwabiem) kawałki szkła odpychają się wzajemnie; wszak pojęcia zawarte w tych dwóch orzeczeniach są tak od siebie różne. Zważmy jednak, że nie chodzi o ustanowienie związku między prawami tych dwóch szeregów zjawisk, lecz między teoriami, tłumaczącymi te prawa. Niepoślednią część swej wartości zawdzięczają teoryesposobności, którą następują do powiązywania ze sobą praw najzupełniej różnych; acz dwa prawa mogą nie mieć ze sobą żadnego wspólnego pierwiastka, obejmujące je teorie mogą zawierać wspólne pierwiastki, na których pożądanym związku daje się oprzeć. Aby tego dopiąć, powinniśmy przede wszystkim zbadać teorie światła i elektryczności, szukając w nich elementów wspólnych.

Teorye światła, jak wszelkie teorye fizyczne, opierają się na analogiach. Najstarsza z godnych uwagi teoryi, którą zawdzięczamy Newtonowi, opierała się, podobnie jak pierwsza teorya elektryczności, na analogii przenoszenia substancyi; owe zmiany w oku, które nazywamy widzeniem światła, miały według niej powstawać dzięki przenoszeniu pewnej substancyi od ciała świecącego do oka [teorya emisyjna światła]. Okazało się jednak, że teorya ta była niezadowalniająca: nasunęła ona wiele praw, które nie odpowiadały rzeczywistości, a mało takich, które się sprawdziły. To też, po długich walkach, zwyciężyła ją i zastąpiła całkowicie teorya Huyghensa, Younga i Fresnela, oparta na analogii fal.

Fale są to zmiany peryodyczne zarówno w czasie jak w przestrzeni, t. j. takie, że w danym punkcie (jakimkolwiek) zachodzi prawidłowy szereg zmian, powtarzający się w równych odstępach czasu, i że w danej chwili napotykamy w następujących po sobie punktach zmiany powtarzające się w równych odstępach przestrzennych. Najlepiej znany przykład stanowią fale morskie lub te, które powstają, gdy rzucamy kamyk na spokojną wodę. Każdy układ prostych fal charakteryzują trzy wymieralne ilości: — (1) **n a t ęż e n i e**, czyli

amplituda, reprezentowane np. w falach wodnych przez wzniesienie góry lub grzbietu nad doliną; (2) częstotność, mierzona przez liczbę grzbietów przechodzących przez stały punkt w danym czasie, np. w ciągu sekundy; (3) prędkość, czyli odległość przebywana przez dany grzbiet w ciągu jednostki czasu.

Otóż, według teoryi undulacyjnej światło polegać ma na takich właśnie falach, przy czem amplituda fal wyznaczać ma jasność światła, czyli jego natężenie, częstość — barwę światła, prędkość fal — prędkość przenoszenia się (propagacyi) światła. Teorya ta wyrażona, jak w Rozdziale I, przez orzeczenie i słownik, przedstawi się w sposób następujący:

Orzeczenie. — Światło polega na zakłóceniach falistych biegnących przez ośrodki przezroczyste; częstość danego zakłócenia pozostaje stała w ciągu biegu; prędkość fali zależy od własności ośrodka i od częstości: w ośrodku A zakłócenia czyli drgania o częstości b propagują się z prędkością c (gdzie A , b , c mają określone znaczenia), i tak dalej, aż nie wymienimy wszystkich prędkości dla wszystkich możliwych częstości fal we wszelkich możliwych ośrodkach.

Słownik. — Twierdząc, że zakłócenia, czyli drgania świetlne dosięgają przestrzeni zajętej przez oko, chcemy przez to powiedzieć,

że widzimy * światło. Mówiąc, że drgania te posiadają częstość b , mamy na myśli to, że widzimy barwę B , i t. d.

Z tego to „orzeczenia“ i „słownika“ możemy wyprowadzać prawa i porównywać je z doświadczeniem; wynika stąd istotnie zupełna niemal zgodność. Teorya falowa światła jest bodaj czy nie zupełniejszą od wszelkiej innej teoryi fizycznej.

Jej koncepcyę zasadniczą stanowią fale; jeżeli zaś chcemy mieć teoryę elektryczną światła, powinniśmy okazać, że koncepcya ta daje się zastosować do teoryi elektryczności. Na pierwszy rzut oka zdawałoby się, że można je wprost zastosować do teoryi płynów elektrycznych, w tej bowiem mamy już gotowy materiał podobny niejako do wody, w którym mogłyby propagować się fale. Niestety jednak teorya ta nie daje nam żadnego powodu do przypuszczenia, że jest w ogóle jakaś elektryczność tam gdzie niema ciał naelektryzowanych lub przynajmniej dających się naelektryzować; niema więc elektryczności w próżni, a więc też owego „płynu“, który miałby

* Nie w tej samej chwili, oczywiście, lecz nieco później, gdyż przeniesienie się podrażnienia nerwowego od siatkówki do centru optycznego wymaga pewnego, acz krótkiego bardzo czasu. *Przyp. red.*

dźwigać fale, a światło przebiega wszak i przez próżnię. Dlatego właśnie, że według dawniejszej teorii elektryczności próżnia jest zupełną pustką, teoria ta nie da się nigdy zharmonizować z teorią światła.

34. Teoria elektromagnetyczna światła. — Z drugiej strony, teoria Faraday'a nie uważa próżni za bezwzględną pustkę, lecz za przeszytą liniami siły. Czyż jednak linie te mogą przenosić fale? Niewątpliwie mogą, tylko że fale takie różnić się będą od fal wodnych. Linie siły wyobraziliśmy sobie jako podobne do naciągniętych strun lub lin o pewnym napięciu podłużnym i o pewnej bezwładności (inercyi) dla ruchu poprzecznego, t. j. prostopadłego do ich długości; o ile chodzi o taki właśnie ruch poprzeczny, są one zupełnie podobne do liny napiętej między stałą osadą a ręką*.

* Użyte tu słowo „zupełnie“ może być usprawiedliwione lub też nie. Analogia między linami a liniami siły nasuwa nam pewne rzeczy, których dotychczas zgola nie można poprzeć dowodami eksperymentalnymi. Tak np. liny są indywidualnie odosobnione od siebie, zakłócenie wzbudzone w jednej z nich biegnie naprzód po linii prostej wzdłuż tej liny, nie wywołując zakłóceń w innych bocznych kierunkach. W przypadku światła natomiast zakłócenie wzbudzone w danym punkcie, rozchodzi się we wszystkich kierunkach, tak iż tu analogię z linami, z któ-

Jeżeli, trzymając ręką swobodny koniec liny, poruszamy ją szybko tam i nazad w kierunku poprzecznym, czyli prostopadłym do liny powstaje dostrzegalna łatwo fala, która biegnie wzdłuż liny. Wobec własności przypisanych liniom siły mogą więc bardzo dobrze przenosić się wzdłuż nich fale [poprzeczne]; zapytujemy tedy, czy fale te dają się utożsamiać z falami światła.

Przypisaliśmy falom świetlnym trzy tylko własności: natężenie, częstość i prędkość; jeżeli więc związek między trzema temi własnościami, czyli odpowiednimi ilościami, obliczony dla fal wzdłuż linii siły, jest we wszystkich przypadkach taki sam, jak doświadczenie daje dla fal świetlnych, utożsamienie nie może już żadnej podlegać wątpliwości. Otóż, prędkość fal wzdłuż linii siły wyznacza się, podobnie jak dla liny, przez napięcie podłużne linii i przez jej bezwładność [poprzeczną]. Obie te ilości zmieniać się będą wraz z ośrodkiem, w którym linie siły przebiegają:

rych każda miałaby być oddzieloną od reszty, należałoby odrzucić; lepszą już byłaby analogia z falami wytworzonymi przez kamień rzucony do stawu. Sprawy tej nie możemy atoli poddać tu należytej dyskusji, gdyż w tym celu musielibyśmy wdać się szczegółowo w pewne zagadnienie najświeższej już daty.

pierwszą zmierzyć można za pomocą obserwacji przyciągania wzajemnego dwóch ciał umieszczonych w danym ośrodku, drugą przez obserwacje zjawisk opisanych na str. 82, skoro drut w tymże umieścimy ośrodku; prędkość więc tych fal dla każdego wyznaczyć się daje ośrodka.

Otóż porównywając tak otrzymane przepowiednie z doświadczeniem, przekonano się, że w pewnych przypadkach zgodność zachodzi, w innych zaś nie. W próżni, w powietrzu i w innych gazach prędkość fal wzdłuż linii siły zgadza się znakomicie z prędkością światła, otrzymaną z pomiarów ziemskich i astronomicznych*. Z drugiej atoli strony, podczas gdy w większości ośrodków przezroczystych**, prędkość fal świetlnych zmienia się w znacznym stopniu z ich częstością (a więc barwą), teoria nasza przepowiada dla fal o wszelkich możliwych częstościach jedną i tę samą prędkość; w ośrodkach tych przepowiednie teorii zgadzają się z doświadczeniem jedynie dla małej bardzo częstości. Wykroczylibyśmy poza ramy tego dziełka, gdy-

* Wynosi ona okrągło trzysta tysięcy kilometrów na sekundę, czyli $3 \cdot 10^{10}$ cm./sek. *Przyp. red.*

** A mianowicie we wszystkich ciałach stałych lub ciekłych. *Przyp. red.*

byśmy chcieli głębiej w przedmiot ten wniknąć i okazać, jak teoria elektromagnetyczna w dalszym swym rozwoju nietylko niezgodność powyższą usunęła, lecz stała się narzędziem niektórych najusilniejszych i najpłodniejszych dociekań nowoczesnych*.

Tu wystarczyć nam musi, że niezgodność istotnie usunięto i że elektromagnetyczna teoria światła cieszy się obecnie powszechnem uznaniem jako trwała podstawa wszelkiej teorii optycznej. Jej to zawdzięczamy wszystkie niemal postępy optyki teoretycznej, których ostatnie pokolenie było świadkiem.

* Autor ma tu na myśli elektronową teorię rozszczepienia (dyspersyi) światła, założoną przez słynnego fizyka holenderskiego H. A. Lorentza pod koniec ubiegłego stulecia i zastosowaną następnie do wielu innych zagadnień. Z teorią elektronów i jej zastosowaniami czytelnik będzie mógł zapoznać się szczegółowo i względnie łatwo z książki Campbella pod tytułem *Modern electrical theory*, która niebawem wyjdzie z druku w przekładzie polskim. *Przyp. red.*

ROZDZIAŁ V.

Teorya Maxwella.

35. Uwagi historyczne. — Gdyby jedynym moim przedmiotem było wyjaśnienie natury ważniejszych teoryi elektrycznych, niewiele miałbym do powiedzenia w dodatku do powyższego wykładu tej z nich, która oparła się na poglądach Faraday'a. Nie jest atoli ani możliwem ani pożądanem zupełne zapoznanie historyi rozwoju danej nauki; nie chciałbym wzbudzić w czytelniku przekonania, że naszkicowany powyżej bieg myśli istotnie był tym, który doprowadził do teoryi elektromagnetycznej światła, a pominięcie wszelkich wzmianek co do metod, dzięki którym teoryę tę w rzeczywistości zdobyto, równałoby się zaniedbaniu jednego z najważniejszych środków pomocniczych w studyach fizycznych.

Sam Faraday nakreślił tylko surowy szkic powyższej teoryi; wskazał on tylko ogólnie,

że działanie elektryczne i magnetyczne w głównych swych zarysach daje się interpretować przez linie siły w spoczynku lub w ruchu. Nie był on matematykiem i nie starał się nawet do teorii swej wprowadzić wielkości, któremi w wykładzie naszym swobodnie operowaliśmy. Wiedział on oczywiście, że wzdłuż linii siły panuje napięcie, zaś w kierunkach prostopadłych ciśnienie, a więc dążność do wzajemnego odpychania się linii; lecz nie określił żadnej wielkości opartej na tych pojęciach, ani też nie usiłował powiązać ich z owymi wielkościami wymierzalnemi, które wprowadziła starsza teoria elektryczna. Zdaje się, że nie uprzytomnił sobie nawet, iż linie siły muszą być obdarzone bezwładnością. Tę wprowadził dopiero J. J. Thomson, który (przeszło pięćdziesiąt lat po pracy Faraday'a i dwadzieścia lat po zbudowaniu, na innej zupełnie drodze, teorii elektromagnetycznej światła) rozwinął poglądy Faraday'a według linii wytycznych naszkicowanych w poprzednim rozdziale i okazał, że prowadzą one bezpośrednio do wszystkich wyników, które Maxwell za pomocą innych otrzymał środków.

Bez określenia owych wielkości, napięcia wzdłuż linii siły i bezwładności tychże linii,

nie możnaby było przepowiedzieć, z jaką prędkością zakłócenia przenosiłyby się wzdłuż linii siły. Główny dowód przemawiający za teorią elektromagnetyczną światła nie był więc dla Faraday'a dostępny. Dziwić się jednak należy, że nie nasunęła mu się nigdy myśl, iż linie te mogłyby dostarczyć mechanizmu dla propagacyi zakłóceń w próżni; a jest to tem dziwniejsze, że Faraday głęboko był przekonany o możliwości ustanowienia związku między zjawiskami optycznymi a elektrycznymi i wiele stracił czasu na próby doświadczalne wywołania pewnego wpływu na propagacyę światła, poddając ośrodki, przez które światło przechodziło, siłom elektrycznym i magnetycznym. Odkrył on nawet przypadkowo wpływ tego rodzaju, to jednak odkrycie nie dało początku żadnemu dalszemu rozwojowi; istotnie odkrycia tego nie pogodzono z teorią elektryczną światła, dopóki do teorii tej nie przyłączyła się nowsza jeszcze teoria elektronów. Cechę wspólną zjawisk elektrycznych i optycznych, z konieczności nasuwającą związek między nimi, stanowi to, że obadwa te rodzaje działania mogą się propagować po przez próżnię, a niepowodzenie Faraday'a przypisać należy tej okoliczności, iż nie szukał on związku w tym właśnie kierunku.

Dopiero Maxwellowi, o tyle wyższemu od Faraday'a w biegłości matematycznej o ile niższemu od niego w intuicyi fizycznej*, przypadło w udziale osiągnięcie owych ze wszech miar ważnych wniosków, które w rzeczywistości są wypływem logicznym pomysłów Faraday'a. Lecz metoda, za pomocą której dopiął tego celu, różniła się zupełnie od tej, którą, nakreśliłem w poprzednich paragrafach. Wprowadził on wprawdzie wielkości odpowiadające pojęciom napięcia podłużnego linii siły i ciśnienia w kierunkach poprzecznych, lecz chociaż pierwszy zwrócił uwagę na analogię między obwodem prądu elektrycznego a układem posiadającym bezwładność, nie przypisywał jednak bezwładności liniom siły. Traktował on zjawiska elektrostatyczne konsekwentnie z Faraday'owskiego punktu widzenia, lecz gdy wypadło mu zająć się zjawiskami elektromagnetycznymi, zwrócił się zupełnie niemal do metod charakterystycznych

* W oryginale czytamy: *As greatly the superior of Faraday in mathematical ability as his inferior in physical insight.* — Z przykrością zaznaczyć mi wypada, że autor nie docenił tu Maxwella, podobnie jak przecenił może zasługi J. J. Thomsona. Wrażenia mego nie mógłbym usprawiedliwić należycie, nie rozszerzając się zbyt-
nio. *Przyp. red.*

dla Ampère'a. Teoria, która powiodła go ku elektromagnetycznej teorii światła, acz nie wolna od wpływu dzieła Faraday'a, była jednak logicznie odeń niezależna. Owszem, różniła się od dzieła Faraday'a co do wewnętrznej swej istoty. Teoria Faraday'a była fizyczną, teoria Maxwella — matematyczną, — tu zaś musimy zatrzymać się na chwilę, aby rozważyć po krótko, czem właściwie jest teoria matematyczna.

36. Teorie matematyczne. — Widzieliśmy, że teoria fizyczna rozpatrywana z jednej ze swych stron, jest grupą twierdzeń, z których wyprowadzić można inne twierdzenia (prawa); logicznie rzecz biorąc, powiemy, że twierdzenia takiej teorii są poprostu równoważne prawom, które mają tłumaczyć, lecz różnią się od tych praw o tyle, że nasuwają nam inne prawa. Pod tym względem teoria matematyczna jest bardzo podobna do fizycznej; składa się ona również z twierdzeń, z których wyprowadzić można prawa, i z niej też wysnuć można takie prawa, których nie uwzględniono wcale przy pierwotnem kształtowaniu teorii. Główna różnica między teorią fizyczną a matematyczną leży w istocie samych twierdzeń, z których się obie składają, i z pojęć

(koncepcyi) przez twierdzenia te wprowadzonych.

Pojęcia każdej teorii fizycznej wywodzą się z analogii z jakimś układem mechanicznym, z którego sposobem działania oswoiliśmy się zupełnie dzięki naszemu doświadczeniu; pojęcia natomiast teorii matematycznej są tej samej natury, co używane w dziedzinie czystej matematyki. Jaka jest ta „natura“, niemożliwem byłoby w ramach niniejszego tomiku wyłuszczyć; niestety też mało jest książek, w których jest to objaśnione w sposób dostępny dla szerszego koła czytelników. Lecz z pewną klasą tych pojęć, mianowicie z liczbami wymiernymi (racyonalnemi), każdy, kto uczył się kiedykolwiek arytmetyki jest — powierzchownie przynajmniej — zapoznany. Do tych i wielu innych tworów pojęciowych czystej matematyki dają się zastosować działania dodawania i odejmowania; są atoli w matematyce czystej inne twory, do których stosować się dają nie te tylko, lecz inne jeszcze działania, niezastosowalne do liczb wymiernych. Mam tu na myśli twory pojęciowe, wprowadzone przez tę gałąź matematyki, która jest znana pod nazwą rachunku nieskończonościowego, a których stosowanie

odróżnia matematyka nowoczesnego od dawniejszego.

Otóż wielkości wprowadzone przez teorie fizyczne są podobne do liczb wymiernych, o tyle mianowicie, iż stosują się do nich działania analogiczne do dodawania i odejmowania, lecz nie działania rachunku nieskończonościowego; dzięki samej już istocie ostatnich tych działań nie można określić wielkości, do których dają się one stosować, przez czucia czyli przez dane zmysłowe, które stanowią ostateczną podstawę fizyki. Niemożliwem jest tedy ustanowienie praw fizycznych zawierających owe twory pojęciowe, do których stosują się potężne i wysoce rozwinięte metody rozumowania matematyki nowoczesnej (t. j. rach. nieskończonościowego i t. p.). Jeżeli wogóle mamy się metodami temi posługiwać, musimy do nauki naszej wprowadzić pewne koncepcye, które nie dają się określić w terminach czuć, koncepcye typowe nie dla praw lecz dla teoryi.

Takie właśnie twory wprowadza teoria matematyczna. Prawa fizyczne głoszą pewne związki między wielkościami fizycznymi. Tak np., gdy rozważamy skutki magnetyczne prądu elektrycznego, możemy mieć wielkości następujące: natężenie prądu (C), siłę kierow-

niczą wywieraną na magnes (H) oraz różne długości (L , M , N i t. d.) wyznaczające położenie magnesu względem obwodu prądu. Prawo zaś nasze orzekać będzie, że jeżeli C ma wartość c , zaś L , M , N — wartości l , m , n , natenczas H ma wartość h , gdzie c , l , m , n , h są pewnemi określonymi liczbami. Teorya matematyczna wprowadza nowe twory pojęciowe C' , H' , L' , M' , N' , do których zastosować się dają działania rachunku nieskończonościowego i ustanawia między nimi pewne inne związki; a związki te muszą być takie, iż z ustanowionych twierdzeń można wywnioskować logicznie, że skoro C' , L' , M' , N' mają wartości c , l , m , n , natenczas H' ma wartość h . Twierdzenia prowadzące do tego wniosku stanowią teorię matematyczną. Zauważyć należy, że teoriya matematyczna, podobnie jak fizyczna, podzielić się daje na „orzeczenia“ i na „słownik“; orzeczeniami są owe twierdzenia, na słownik zaś składają się zdania następującego typu: jeżeli powiadam, że C' ma wartość c , mam na myśli, że C ma wartość c .

Wszystko to wydać się może niepotrzebnie zawiłem, zapewniam jednak czytelnika, że niejedno już nieporozumienie powstało dzięki

temu, iż nie zwracano uwagi na opisane tu cechy jednego i drugiego rodzaju teorii.

Zastanawiając się nad metodami tworzenia teorii matematycznych, natykamy się na trudności podobne do tych, które zauważyliśmy przy omawianiu teorii fizycznych. Znamy jedynie prawa, które mają być wyprowadzone z teorii, a wiele jest różnych teorii, z których jedne i te same prawa wyprowadzić się dają. Na czym więc oprzeć mamy wybór nasz z pośród niezliczonych teorii, które wiodą wszystkie do jednych i tych samych praw?

Otóż, posiadając już teorię jakąś, możemy wyprowadzić z niej nietylko te prawa, dla których wyjaśnienia została wynaleziona, lecz mnóstwo innych praw, a teoria nie będzie zadawalniająca, jeżeli nowe te prawa również nie będą w zgodzie z obserwacją; ta właśnie cecha stanowi kryterium wartości teorii już założonej, lecz nie może nam być pomocną, gdy mamy dopiero nową teorię budować.

Faktem jest, że udatne teorie matematyczne tę samą posiadają cechę, co udatne teorie fizyczne, że mianowicie nietylko tłumaczą stare prawa i przepowiadają nowe, lecz zaspakajają również wymagania estetyczne umysłu. Okazuje się, że z niezliczonych alternatyw wybierano dla twierdzeń ważniejszych teorii

matematycznych pewną szczególną postać wyraźnie gwoli jej prostocie i przejrzystości, i dlatego, że posiadała owe nieuchwytnie właściwości, które są tak pociągające dla czystego matematyka, a tak tajemnicze dla każdego innego człowieka. Znowu zaznaczyć musimy ów dziwny fakt, że te twierdzenia, które posiadają cudowną niemal moc przepowiedni praw zgodnych z rzeczywistością, przemawiają jednocześnie najsilniej do owych irracjonalnych pożądań intelektu. To właśnie ustawiczne kojarzenie się dwóch tak różnych własności nadaje wartości teoryom i umożliwia prawdziwą naukę.

Jedną atoli ważną różnicę między teoryami fizycznymi a matematycznymi zaznaczyć tu wypada. Widzieliśmy, że teoria fizyczna, że pominiemy już charakter jej jako równoważnika logicznego praw przez nią wyjaśnianych, jest pożyteczną ze względu na to, co nam nasuwa. Nowe prawa z teorii takiej wysnuwać mogą z powodzeniem ci tylko, co są obdarzeni ową osobliwą intuicyą naukową, dzięki której najwięksi fizycy dają posłuch prawdziwym tylko a nie złudnym podszeptom. W przypadku teorii matematycznej natomiast wysnuwanie nowych praw odbywa się nie dzięki owym podszeptom, dostępnym niewielu tylko

umysłem, lecz przez proces ścisłej dedukcyi logicznej, wykonalny dla wszystkich, co posiadają niezbędną wprawę matematyczną, i przekonywający dla każdego, kto tylko może go zrozumieć. Wnioski z teorii fizycznej otrzymuje się za pomocą metod, które mała tylko mniejszość ocenić może, podczas gdy metody wysnuwania wniosków z teorii matematycznej ocenić może każdy, kto przeszedł niezbędne studia. Ponieważ moc przekonywającą w ostatnim rzędzie osiągnąć można jedynie przez powołanie się na powszechnie przyjęte zasady, przeto teoria matematyczna posiadała moc taką zawsze w stopniu znacznie wyższym, niż teoria fizyczna; wielkie teorie matematyczne, jak Newtona teoria ciężenia lub Ampère'a teoria elektromagnetyzmu, nigdy nie wzbudzały wątpliwości, podczas gdy każda niemal teoria fizyczna spotykała się w tym lub owym okresie swej historii ze sceptycyzmem. Pomimo to nie należy sądzić, aby teorie fizyczne mniej były warte od matematycznych, ani też, że nauka mogłaby się wogóle bez nich rozwinąć. Istota logiczna obydwu, stosunek ich do praw i ostatecznych podstaw nauki jest jeden i ten sam; to, że nowe prawa wywodzą się z nich przez odmienne nieco procesy, małe posiada znaczenie, skoro tylko

uprzytomnimy sobie, że w jednym zarówno jak w drugim przypadku nowe te prawa przejść muszą przez ogniową próbę doświadczenia, zanim przyjęte zostaną jako prawdziwe. Nie-rozsądnie byłoby przyjąć bez żadnych dalszych badań jakkolwiek rezultat wyprowadzony np. z teorii elektromagnetyzmu Ampère'a, a z drugiej strony nalegać na przytoczenie niezliczonych dowodów eksperymentalnych przed przyjęciem jakiegoś wyniku nasuniętego przez teorię Faraday'a. Rozważania te większą posiadają wagę, niż zdawać by się mogło czytelnikowi nieobeznanemu z historią nauki oraz z nowszemi jej kwestyami spornemi.

37. **Teoria Maxwella.** — Taka to właśnie teoria matematyczna powiodła Maxwella do wielkiego jego odkrycia. Prawa, dla których wyjaśnienia* teoria ta była pierwotnie przeznaczona, dotyczyły działania magnetycznego obwodu prądu oraz indukcji prądu w obwodzie na skutek zmian w poblizkim magnesie. Prawa te sformułowano przed

* Skoro chodzi o teorię matematyczną, należałoby raczej powiedzieć: dla objęcia (w jedną całość), zamiast „wyjaśnienia“.

Maxwellem; zbudowano też odpowiednią teorię matematyczną. Tę Maxwell zmienił w dwóch kierunkach. Pierwszej zmiany dokonał pod wpływem teorii Faraday'a; według starszej teorii w zupełnej próżni nie mógł istnieć prąd elektryczny, wraz z otaczającymi go liniami magnetycznymi, — sądzono bowiem, że zjawiska takie kojarzą się zawsze z obwodami przewodzącymi; lecz według Faraday'a czynnikami miarodajnymi były poruszające się linie siły, mogące wówczas nawet poruszać się, gdy końce ich są umocowane, tak iż w doskonałej próżni możliwy jest przecież prąd elektryczny wraz ze swymi skutkami magnetycznymi. Wcielając możliwość tę do swej teorii, Maxwell w sposobie jej wyrażenia niewątpliwie powodował się względami symetrii i prostoty matematycznej. Musiał on wprowadzić jakąś ilość elektryczną, która mogłaby mieć wartość skończoną nawet w próżni, a której zmiana kojarzyłaby się z działaniem magnetycznym; wybrał on ilość tę w taki sposób, że gdy wszystkie rozważane działania odbywały się w próżni, twierdzenia jego teorii obejmującej prawa działania magnetycznego prądu elektrycznego posiadały dokładnie tę samą prostą postać, co twierdzenia teorii powstawania prądu dzięki zmia-

nom pola magnetycznego. Jedyna różnica między tymi dwoma układami twierdzeń polegała na tem, że ilości elektryczne w pierwszej były zastąpione przez ilości magnetyczne w drugiej; dwa te układy twierdzeń posiadały pewną symetrię, która przemówić musiała do każdego, co podobnie jak Maxwell, interesował się czystą matematyką*.

* Autor ma tu na myśli „twierdzenia“, których wyrazem matematycznym były pewne dwa układy równań różniczkowych Maxwella; te w postaci uproszczonej (dzięki wyrugowaniu pewnych wielkości pomocniczych) przez Hertza-Heaviside'a, wyrażają się dla próżni przez dwa wzory następujące:

$$1.) \quad \dot{\mathbf{E}} = c. \text{curl } \mathbf{M}$$

$$2.) \quad \dot{\mathbf{M}} = -c. \text{curl } \mathbf{E},$$

gdzie tak zwane wektory \mathbf{E} , \mathbf{M} wyrażają co do wielkości i kierunku siłę elektryczną, względnie magnetyczną w danym dowolnym punkcie i w dowolnej chwili czasu. Kropki nad literami oznaczają prędkość zmiany w czasie odpowiednich wielkości, zaś „curl“ jest symbolem pewnego działania różniczkowego związanego z rozmieszczeniem wartości i kierunków wektora w przestrzeni, wreszcie c pewną wielkością, elektromagnetyczną raz na zawsze stałą.

„Symetria“ więc o jakiej autor mówi (a w oryginale czytamy „symetria doskonała“, acz taką nie jest) od-

Maxwell doszedł tym sposobem do dwóch szeregów twierdzeń, z których każde ustanawiało pewne związki [różniczkowe] między ilościami elektrycznymi, ilościami magnetycznymi oraz ilościami wspólnymi wszelkim gałęziom fizyki, mianowicie długościami i czasem. Wnikając zaś głębiej w konsekwencje tych twierdzeń, przekonał się, że prowadziły one do wniosku, iż wszelka zmiana, wywołana w danem miejscu czy to w stanie elektrycznym czy też w magnetycznym, powinna pojawić się w innem miejscu po upływie pewnego czasu, zależnego jedynie od wzajemnej odległości tych dwóch miejsc i od własności elektrycznych oraz magnetycznych samego ośrodka, który znajduje się między temi miejscami. Lecz to właśnie mamy na myśli, gdy powiadamy, że zakłócenia propagują się z jednego miejsca do drugiego z prędkością określoną przez własności elektryczne

zwierciadła się we wzorach powyższych w tej okoliczności, że 2.) wynika z 1.) jeżeli zastąpimy

E przez M

i jednocześnie

M przez — E.

Autor niesłusznie zresztą sądzi, że urok tej symetrii tak wielki wywarł wpływ na Maxwella i na plan budowy jego klasycznych równań. *Przyp. red.*

i magnetyczne ośrodka, czy to ośrodka ważkiego, czy też samej próżni*. Gdyby własności te [t. j. wartości K , μ w ostatnim przypisku] były znane, a można je było wyznaczyć doświadczalnie, — prędkość propagacji byłaby wiadomą. Porównywając tę właśnie przepowiedzianą prędkość propagacji ze znaną prędkością światła w rozważanym ośrodku, otrzymał Maxwell wnioski, o których wspomniano na str. 113. W ten to sposób powstała elektromagnetyczna teoria światła. Nie przyjęto jej natychmiast, lecz wówczas dopiero, gdy z teorii Maxwella dalsze jeszcze wnioski wysnuto i znowu porównano z doświadczeniem. Największe w tym kierunku postępy uczynił Hertz, którego słynne doświadczenia

* W próżni prędkość ta propagacji równa się powyższej stałej c (patrz poprzednią uwagę), ta zaś, jak wynikało z pomiarów czysto elektro-magnetycznych, wynosi okragło $3 \cdot 10^{10}$ cm./sek. W innych zaś ośrodkach prędkość ta jest mniejsza, a mianowicie równa $c/\sqrt{K\mu}$, gdzie

K jest t. zw. współczynnikiem dielektrycznym, zaś μ — magnetycznym (czyli „przenikliwością“ magnetyczną) danego ośrodka. Współczynniki te K , μ zależą zresztą liczebnie od częstości drgań, czyli zmian elektromagnetycznych. Dla szybkich zresztą drgań, jak świetlne, μ nie różni się dostrzegalnie od jedności, tak iż prędkość staje się wówczas równą c/\sqrt{K} . *Przyp. red.*

zjednały teorii Maxwella ostateczne i powszechne uznanie. Lecz wszelkie dalsze roztrząsanie tego przedmiotu zaprowadziłoby nas zbyt daleko; w całym tym tomiku chodziło mi raczej o wyjaśnienie, czym jest nauka i jak się rozwija, niż o detaliczny opis istotnie poczynionych zdobyczy naukowych.

38. **Nowsze prądy rozwoju.** — W tem stadium następuje w rozwoju nauki elektrycznej wyraźny przełom. Kończy się nauka dawniejsza, a zaczyna nowsza, która w ostatnich latach piętnastu tak daleko idące wywołała zmiany i która zrewolucjonizowała wszystkie niemal poglądy nasze na zjawiska przyrody. A chociaż w ciągu dość długiego okresu nie uczyniono żadnych godnych uwagi postępów, jasnym było jednak dla wszystkich dalekowszających uczonych ówczesnych, w jakim kierunku zwróci się ostatecznie nowy postęp. Zaznaczyliśmy już, że elektromagnetyczna teoria światła jest zupełnie zakończona i zgadza się ze znanymi faktami, o ile chodzi o propagację światła w próżni, i że niezgodność występuje wówczas dopiero, gdy chcemy połączyć ze sobą własności elektryczne i optyczne ośrodków lub ciał materialnych, to jest wazkich, jak szkło, woda i tym po-

dobne, które dają dostrzegalne rozszczepienie światła.

Gdy tylko wnikamy nieco głębiej w czysto elektryczne nawet własności ciał materialnych, żadna z wypracowanych teorii nie jest zupełnie zadowalniająca. O niektórych trudnościach takich napomknęliśmy już krótko w naszym przeglądzie. Ostre odgraniczenie między przewodnikami a nieprzewodnikami (izolatorami), które koniecznie wprowadzić należało dla celów elektrostatyki, zacierają się przy bliższem badaniu; okazuje się bowiem, że wszystkie ciała posiadają w pewnym stopniu cechy jednej i drugiej klasy ciał. Dalej, trudno było pogodzić wyjaśnienie nasze zjawisk elektryzacji przez indukcyę z przypuszczeniem, że elektryczność nie może się poruszać w izolatorach. Liczbę przykładów takich możnaby bez granic niemal powiększyć, teoria zaś elektryczności nie będzie zupełną, dopóki, oczywiście, nie uwzględnimy w wyższym znacznie stopniu zarówno podobieństw jak różnic między poszczególnymi materiałami co do ich własności elektrycznych. Dotychczas uważaliśmy ciała materialne za coś, co zmienia trochę tylko własności elektryczne próżni, w której je umieszczamy; nie uczyniliśmy natomiast żadnej poważnej

próby powiązania własności elektrycznych ciał z innemi ich własnościami lub też stworzenia jakiejś teoryi fizycznej, mającej własności owe wytłumaczyć. W tym to właśnie kierunku należy obecnie zwrócić wysiłki. Posługując się terminami najdawniejszej teoryi elektryczności, możnaby zapytać: Jakie jest rozmieszczenie owych równych sobie ilości elektryczności przeciwnych, które mają być obecne w ciałach nienaładowanych, w łonie tych właśnie ciał, i jaki zachodzi związek między tymi ładunkami a atomami lub cząsteczkami, z których składają się ciała? W tej to formie postawiono pytanie, gdy zjawiły się pierwsze ślady rozwiązania zaległych trudności. Nie poraz pierwszy to tym razem znowu teoria okazała się niemal cenniejszą przez swe niepowodzenia, niż przez sukcesy; jeżeli prawa udatnie przepowiedziane przez teorię Maxwella dokończyły budowy gmachu starszej nauki elektrycznej, to nieziszczone przepowiednie jego teoryi dały pochop do wzniesienia nowego gmachu.



BG Politechniki Śląskiej

nr inw.: 102 - 141454



Dyr.1 141454