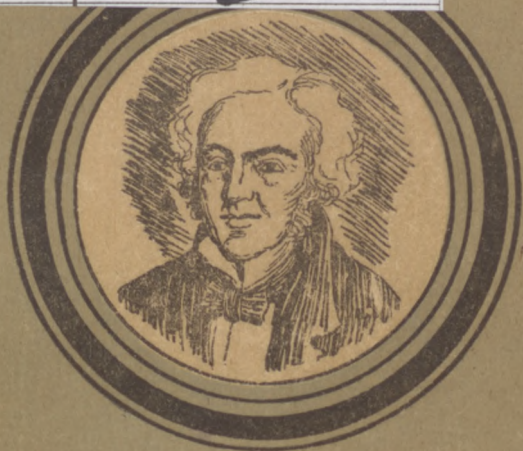


Biblioteka popularna naukowa Wiedzy

Biblioteka
Główna
UMK Toruń

~~08193/4~~



MARIAN GROTOWSKI

MICHAŁ FARADAY
JEGO ŻYCIE I DZIEŁO

Spółdzielnia Wydawnicza Wiedza

12. XVI

MICHAEL FARADAY

BIBLIOTECZKA POPULARNO-NAUKOWA
„WIEDZY“

MARIAN GROTOWSKI
MICHAŁ FARADAY
JEGO ŻYCIE I DZIEŁO

WYDANIE DRUGIE

SERIA PRZYRODNICZA
POD REDAKCJĄ
ZOFII BOHUSZEWICZ
NR 7

MARIAN GROTOWSKI

MICHAŁ FARADAY

JEGO ŻYCIE I DZIEŁO

1791 — 1867

Z 21 RYCINAMI W TEKSCIE

WYDANIE DRUGIE



SPOŁDZIELNIA

WYDAWNICZA

WARSZAWA

1947

8.0.692/47



1420850

ALL RIGHTS RESERVED
SPÓŁDZIELNIA WYDAWNICZA
»WIEDZA« WARSZAWA
PRINTED IN POLAND

Nakład 10.000. — Papier satyn. w form. 70×100 cm 80 g. — Drukarnia „Wiedza“ nr 4 w Toruniu — 1 września 1947. — Nr zam. 567. — E 036346

Ⓛ 170/20

Dzieciństwo i młodość. Dnia 22 września 1791 r. ubogiemu kowalowi w Newington Butts pod Londynem urodził się syn, któremu na chrzcie dano imię Michała. Nie wiemy, czy radośnie był powitany przez rodziców ten nowy przybysz — i bez niego bowiem trudno było rodzicom związać koniec z końcem.

Obarczony dziewięciorgiem dzieci ojciec sądził, że w większym mieście o pracę będzie łatwiej i lepiej będzie można dzieci wychować, wkrótce więc po narodzinach Michała przeniósł się do Londynu. Nadzieje jednak na lepsze zarobki zawiodły — trzeba było nawet przez czas pewien korzystać z pomocy dobroczynności państwowej. W tych warunkach o systematycznym kształceniu dzieci, rzecz prosta, mowy być nie mogło; należało przede wszystkim myśleć o zdobyciu środków do życia. Dwunastoletni Michał musiał również poddać się tej konieczności i nie kończąc rozpoczętej nauki w szkółce elementarnej wziąć się do pracy zarobkowej. Początkowo zarabiał roznoszeniem gazet, po roku udało mu się dostać do warsztatu. Los szczęśliwy chciał, że był to warsztat introligatorski; młody terminator mógł, kradnąc chwile krótkiego wypoczynku, czytać nocami książki, oddawane maj-

strowi do oprawy. Wpadły mu wtedy w ręce popularne książeczki z chemii i artykuł z encyklopedii o elektryczności. Wywarły one na niego wstrząsające wrażenie. Właśnie wtedy — na początku 19 wieku — chemia zaczynała się stawać nauką, zaczynały powstawać nowe teorie, krystalizować się nowe pojęcia, które miały wytknąć drogę badaniom na przeciąg całego stulecia; w elektryczności ogólny podziw i zainteresowanie budziło odkrycie prądu elektrycznego przez Galvaniego, tak głęboko później opracowane przez Aleksandra Voltę. Przed olśnionymi oczami Faradaya otworzył się nagle nowy świat, nowa niepodjęta nawet rzeczywistość. Przekonać się naocznie o tych cudownych odkryciach, bliżej się zapoznać z tak niezwykłymi zjawiskami — stało się odtąd jedynym jego marzeniem. Ze skromnych funduszków, jakimi rozporządzał, mógł kupować tylko najprostsze przyrządy; należało więc tak doświadczenia obmyśleć, aby można je było i w tych warunkach wykonać. Ciężkim trudem okupiona umiejętność najlepszego wyzyskania prostych przyrządów pozostała na całe życie cechą wyróżniającą badania Faradaya. W wiele lat później w 1853 r., gdy Faraday stał u szczytu sławy, znakomity uczony niemiecki, Herman Helmholtz, pisał do żony: „(Faraday) pokazywał mi wszystko, co było do widzenia. Było tego jednak niewiele, gdyż, jak się zdaje, kilka starych kawałków drzewa, drutu i żelaza wystarcza mu do największych odkryć“.

Dorywcza jednak praca nie mogła wystarczyć Faradayowi. Czuł on coraz bardziej potrzebę usystematyzowania nabytych dość chaotycznie wiadomości. Udało mu się to dopiero w 1810 roku dzięki pomocy starszego brata, kowala, tak jak ojciec. Uzyskawszy pozwolenie majstra, zapisał się na popularne wykłady z fizyki i astronomii. Rozmowy z kolegami, często posiadającymi o wiele większą wiedzę, atmosfera naukowa, którą mógł przynajmniej przez parę godzin dziennie oddychać, zapoznały go z podstawami metody naukowej i nauczyły ścisłego wyrażania swych myśli.

W Londynie istniała już wówczas instytucja, która odegrała wielką rolę w rozwoju nauki angielskiej. Był to tzw. Królewski Instytut (Royal Institution), założony w 1799 r. przez słynnego filantropa, a jednocześnie miłośnika nauk hr. Rumforda, którego nazwisko jest w historii fizyki związane z pierwszą próbą wykazania, że ciepło może powstawać kosztem pracy. Instytucja ta początkowo miała być szkołą techniczną, stopniowo jednak przekształciła się w zakład swoistego typu, gdzie głównym obowiązkiem profesorów było prowadzenie badań naukowych; wykłady i odczyty stanowiły dla nich zajęcie dodatkowe, nie objęte żadnym regulaminem. Katedrę chemii w instytucie zajmował wtedy słynny uczoney Humphrey Davy, którego prace tak wysoko były cenione, że w 1807 r. rząd francuski nie zawahał się udzielić mu nagrody naukowej mimo wojny, jaką

wówczas Francja prowadziła z Anglią. Na parę wykładów tego wielkiego uczonego udało się dostać Faradayowi, dzięki protekcji niejakiego Dance'a, członka Królewskiego Towarzystwa Naukowego i klienta majstra, u którego Faraday pracował. Wykłady te, dotyczące najnowszych zdobyczy chemii, wygłaszane przez jednego z twórców wielkiego przełomu naukowego, jaki cechował w tej dziedzinie koniec 18 i początek 19 wieku, umocniły jeszcze bardziej w Faradayu przekonanie, że, jak wspominając o tej epoce swego życia, pisze w jednym z późniejszych listów, „należy oddać się na usługi nauce, która przemienia swych wyznawców w ludzi szczerych i godnych miłości“. W porywie młodzieńczego entuzjazmu, z gorącą wiarą w dobroć i życzliwość ludzi nauki napisał do ówczesnego przewodniczącego Królewskiego Towarzystwa Naukowego, Józefa Banksa, list, w którym szczerze i prosto opisał swe położenie i prosił o radę i pomoc. Banks, znakomity botanik, uczestnik podróży Cooka naokoło świata, zlekceważył prośbę młodego rzemieślnika i żadnej na list odpowiedzi nie dał. Za poradą swego nowego opiekuna Dance'a Faraday zwrócił się wprost do Davy'ego, przesyłając mu wraz ze swym listem starannie opracowane notatki z przesłuchanych u niego wykładów. Zwyczaj dokładnego notowania rzeczy widzianych lub słyszanych oraz treści ważniejszych książek przeczytanych miał, niewątpliwie, swe źródło w systematyczności i dokładności, jaka cecho-

wała Faradaya. „Nie myślcie, że byłem bardzo głębokim myślicielem lub nad wiek rozwiniętym. Byłem chłopcem żywym, obdarzonym silną wyobraźnią i wierzyłem równie chętnie w „Tysiąc i jedną noc“, jak i w Encyklopedię; ale fakty wydawały mi się bardzo ważne i to mnie ocaliło. Mogłem wierzyć faktom i dlatego szukałem, badałem, sprawdzałem wszystkie twierdzenia. Sprawdzając w ten sposób „Rozmowy o chemii“ Marceta, wykonując, jak mogłem, doświadczenia i stwierdzając w tej mierze, w jakiej mogłem książkę zrozumieć, że jest ona ścisła, czułem, że w chemii osiągnąłem niejaką pewność i przywiązałem się do niej.“ To też notes zaprowadzony jeszcze w 1810 r. i zatytułowany „mieszaniny filozoficzne“ (the philosophical miscellany), a mający służyć w pierwszym rządzie do notowania faktów, z jakimi badawczy i ciekawy umysł Faradaya się stykał, pozostał przez całe życie wiernym jego towarzyszem. Oddał mu on później nieocenione usługi, gdy z wiekiem pamięć Faradaya, która nigdy świetna nie była, osłabła do tego stopnia, że zapominał on po upływie krótkiego stosunkowo czasu o wynikach swoich własnych doświadczeń i czasami po raz drugi odkrywał prawa, uprzednio przez siebie ustalone i doszczętnie zapomniane. Być może, że to właśnie przyzwyczajenie związłego notowania myśli, spostrzeżeń, faktów uwarunkowało w następstwie formę zewnętrzną prac naukowych Faradaya, stanowiącą w pewnym stopniu przewrót w tej dziedzinie litera-

tury. Prace te, składające się zazwyczaj z ponumerowanych ustępów, omawiających poszczególne doświadczenia i etapy badania, pozbawione są prawie całkowicie długich i mglistych na ogół rozważań, w które obfitowały często prace innych uczonych, szczególnie niemieckich.

Przesłanie notatek Davy'emu zdecydowało o dalszych losach Faradaya. Davy po ich przejrzeniu zainteresował się młodym samoukiem i ulegając jego gorącym prośbom mianował go asystentem laboratoryjnym z pensją 25 szylingów tygodniowo i dwupokojowym mieszkaniem. Możliwe, że Davy przypomniał sobie wtedy swe młode lata, gdy jako uczeń aptekarski zetknął się z dr Beddoesem, byłym profesorem chemii w uniwersytecie oksfordzkim, który mu umożliwił dalszą pracę naukową, biorąc go do swego prywatnego laboratorium. Nie wiemy, czy Davy pytał majstra, u którego pracował Faraday, o zdanie, jakie ma o swym pracowniku, o nim bowiem jego pryncypał — aptekarz — dał Beddoesowi opinię jak najgorszą jako „o złym z gruntu osobniku“. W danym przypadku opinia wypadłaby niewątpliwie inaczej. Introligator de la Roche, emigrant francuski, u którego w październiku 1812 r. zaczął pracować Faraday, już jako wykwalifikowany czeladnik, gorąco się do niego przywiązał i obiecywał mu zapisać cały swój warsztat, byleby zgodził się pozostać u niego. Postanowienia Faradaya nic jednak zachwiać nie mogło. 8 marca 1813 r. otrzymał nominację i objął nowe obowiązki,

które miały go na całe życie związać z Królewskim Instytutem.

W październiku tegoż roku Faraday wyjechał z państwem Davy na kontynent. Podróż ta była połączona z wielu przykrościami, głównie dzięki nietaktom pani Davy, która chciała uważać Faradaya za swego służącego. W styczniu 1815 r. cierpliwość Faradaya była, jak się zdaje, bliska wyczerpania; nosił się z zamiarem zerwania z Davym i powrotu do Anglii. „Gdybym musiał wrócić, pisał do swego przyjaciela Abbotta, wziąłbym się do mego dawnego zawodu, introligatorstwa, książki są i będą moim ukochaniem.“ Na szczęście do zerwania nie doszło i Faraday po dwuletniej nieobecności w Londynie wrócił na swe dawne stanowisko. Podróż ta miała dla jego rozwoju umysłowego bardzo wielkie znaczenie. Dzięki stosunkom i sławie Davy'ego mógł się on zetknąć z najwybitniejszymi uczonymi Francji, Szwajcarii i Włoch; z rozmów z nimi, z ich wykładów zapoznał się lepiej, niż z przeczytanych książek, z zagadnieniami, stojącymi wówczas na porządku dziennym, z obowiązującymi wówczas teoriami i ich krytyką oraz z różnymi, tak nieustalonymi podówczas metodami badań. Jego zdolności eksperymentatorskie jeszcze bardziej się wyćwiczyły; Davy bowiem nie przerywał podczas podróży swych badań naukowych i często wymagał od Faradaya wykonywania nowych lub powtarzania widzianych doświadczeń. Rozporządzając jedynie niewielkim przenośnym

laboratorium, jakie Davy zabrał ze sobą, Faraday musiał często dobrze się napracować, aby zadośćuczynić wymaganiom zwierzchnika. Ciągłe prawie obcując z wybitnymi ludźmi, uświadamiał sobie Faraday wszystkie braki swego wykształcenia, na które gorzko się żali w listach do przyjaciół. Jeszcze dawniej w Londynie dokładał możliwych starań, aby wykształcenie swe uzupełnić; z kolegami założył towarzystwo filozoficzne, będące właściwie kółkiem samokształcenia, dużo pisał, aby nauczyć się wyrażać swe myśli; studiował retorykę, aby móc lepiej mówić; za granicą nie próżnuje ani chwili, stara się nie pominąć żadnego szczegółu ważniejszego, zapoznać wszechstronnie z bujnym życiem naukowym Europy. Toteż po powrocie do Londynu jest w możności rozpocząć pracę samodzielną. W 1816 r. zdobywa się na odwagę wygłoszenia w szczupłym, co prawda, gronie słuchaczy pierwszego swego odczytu, „o własnościach, jakie posiada materia, o postaciach materii i substancyj pierwiastkowych“, i przystępuje do badań naukowych. Początkowo głównym przedmiotem jego zainteresowania jest chemia i prace ogłaszane dotyczą przeważnie tej dziedziny — są to badania nad stopami żelaza, otrzymaniem benzolu itp. Wyjątek stanowią tylko dwie prace: jedna, ogłoszona w r. 1821, stojąca w związku z działaniem magnetycznym prądu i będąca zapowiedzią późniejszych prac z dziedziny elektryczności, druga ogłoszona w 1823 r. słynna praca o skraplaniu

gazów, a więc należąca do dziedziny jakby pośredniej między fizyką i chemią.

Prace nad skraplaniem gazów. Zagadnienie skraplania gazów nie nasuwało teoretycznych wątpliwości ówczesnym uczonym. Według ich zapatrywań gazy i pary nie tylko zewnętrznie były do siebie zbliżone, lecz posiadały również te same zupełnie własności. Podobnie jak gaz, para sucha (to znaczy, oddzielona zupełnie od cieczy, z której powstała) przy ogrzaniu zwiększała swą prężność, podobnie do gazów zmniejszała swą objętość przy zwiększaniu ciśnienia zewnętrznego. Przekonanie o całkowitej identyczności gazu i pary było tak silne, że znakomity fizyk Gay-Lussac uważał wspólność własności gazów i par za całkowicie oczywistą. W swej klasycznej dzisiaj pracy „Badania rozszerzania się gazów i par pod wpływem ciepła“, ogłoszonej drukiem w 1802 r., po przytoczeniu danych, dotyczących rozszerzalności powietrza, wodoru, tlenu i azotu, i ustaleniu, że wszystkie te gazy przy ogrzaniu zwiększają swą objętość dokładnie o tę samą wielkość, że więc posiadają ten sam, jakbyśmy dzisiaj powiedzieli, współczynnik rozszerzalności, pisze on: „z góry już było prawdopodobne, że pary również będą się rozszerzały tak samo, jak gazy; chodziło przeto o zbadanie jednego rodzaju pary“. Użycie do pomiarów pary eteru siarczanego i badanie jej rozszerzalności w wysokiej stosunkowo temperaturze (od 60° do 100°) pozwoliło mu potwierdzić doświad-

czalnie swój pogląd. Nad szybkim zmniejszaniem się objętości pary eteru w temperaturze bliskiej temperatury wrzenia tej cieczy przeszedł Gay-Lussac do porządku dziennego, uważając je za zjawisko pozbawione głębszego znaczenia.

W świetle takich założeń skroplenie gazów, zamiana ich w ciecz mogło być dokonane na tej samej drodze, co skroplenie każdej pary. Parę zaś skroplić można w dwojaki sposób: albo, oziębiając ją pod stałym ciśnieniem, wtedy dochodzi ona w końcu do takiej temperatury, w której staje się parą nasyconą, i dalsze jej oziębianie powoduje przejście jej w stan ciekły, albo zwiększając w stałej temperaturze ciśnienie zewnętrzne, a co za tym idzie, zmniejszając jej objętość — wtedy prężność pary równa, oczywiście, ciśnieniu zewnętrznemu, stale wzrastając, dochodzi wreszcie do wartości, jaką posiada prężność pary nasyconej w danej temperaturze; dalszy niewielki już wzrost ciśnienia powoduje skraplanie pary. Obydwa te sposoby mogą, rzecz prosta, być używane łącznie: można jednocześnie ochładzać parę i poddawać ją coraz to większemu ciśnieniu; zasadniczo jednak każdy z tych sposobów oddzielnie wystarczyłby do skroplenia pary. Podobnie więc, w myśl przytoczonych poglądów, użycie któregośkolwiek z tych sposobów skropliłoby również i dowolny gaz. Niski jednak stan ówczesnej techniki eksperymentatorskiej nie pozwalał na doświadczalne sprawdzenie tych teoretycznych założeń. Mimo

tak wyraźnie wytkniętej metody badań zaledwie parę gazów zostało skroplonych; do nich należał amoniak (NH_3), skroplony przez Van Maruma (1790) r.) pod ciśnieniem 6 atmosfer i dwutlenek siarki (SO_2), skroplony w parę lat później przez Monge'a i Cloueta. Tę bardzo, jak widzimy, skromną listę gazów skroplonych udało się Faradayowi znacznie uzupełnić przez zastosowanie metody, pozwalającej na poddanie oziębianego gazu dość znacznym ciśnieniom.

Jeden z końców zamkniętej grubościennej rurki szklanej, zgiętej w kształcie litery V, wypełniony tym ciałem, z którego miał się wydziełać badany gaz, ogrzewano płomieniem spirytusowym, drugi koniec zanurzano w mieszaninie chłodzącej. W ten sposób wydzielający się gaz, wypełniając chłodzoną część rurki, znajdował się pod dość wysokim ciśnieniem i w dość niskiej temperaturze. Na tej drodze otrzymał Faraday ciekły chlor, rozkładając wodzian chloru ($\text{Cl} + 10 \text{H}_2\text{O}$), oraz skroplił cały szereg innych gazów, jak siarkowodór (z rozkładu $\text{FeS} + \text{HCl}$), dwutlenek węgla, kwas solny itd.

Doświadczenia te zasadniczo nie wnosily nic nowego, raczej potwierdzały zapatrywania, o których wyżej była mowa; stanowiły jednak znakomity postęp, o ile chodzi o samą technikę doświadczalną. Metoda bowiem Faradaya była jedyną, która pozwalała otrzymywać wymienione gazy w stanie ciekłym, i to wyjątkowe swe stanowisko zachowała aż do roku 1845, gdy Fa-

raday po raz drugi wrócił do tego zagadnienia. Przez ten długi, dwudziestodwuletni przeciąg czasu ani jeden nowy gaz nie został skroplony, lista, ustalona w 1823 r. przez Faradaya, pozostała bez zmiany, mimo znacznych postępów, jakie poczyniła technika otrzymywania wyższych ciśnień i niskich temperatur.

Ważnym krokiem na tej drodze było zbudowanie przez Thiloriera przyrządu do otrzymywania ciekłego dwutlenku węgla — przyrządu następnie udoskonalonego przez Natterera. W przyrządzie tym dwutlenek węgla, oziębiony do temperatury 0° i poddany ciśnieniu, równemu mniej więcej 38 atmosferom, wywieranemu przez pompę, zbudowaną przez Natterera, staje się cieczą. Ciecz, wypływająca spod tak wielkiego ciśnienia na zewnątrz, gdzie ciśnienie nie przenosi jednej atmosfery, silnie paruje kosztem swego własnego ciepła, co obniża znacznie jej temperaturę (do mniej więcej 60° poniżej zera) i powoduje zestalenie się jej w sypką, podobną do śniegu, substancję. Ciało to na powietrzu paruje bardzo powoli i będąc złym przewodnikiem ciepła dość długo pozostaje w stanie stałym. Wsypane do naczynia z eterem, parującym, jak wiadomo, bardzo energicznie, tworzy mieszaninę, której temperatura spada tym niżej, im silniej paruje eter. Pod małym ciśnieniem, np. pod kloszem pompy pneumatycznej, gdzie ciśnienie może być znacznie zmniejszone, można otrzymać temperatury stosunkowo bardzo niskie. Tak np. pod ciśnieniem 30 mm rtęci

energiczne parowanie eteru obniża temperaturę do 110° poniżej zera.

Tego właśnie sposobu ochładzania użył w drugiej swej pracy Faraday. Zbiornik, w którym znajdował się badany gaz, zgęszczony uprzednio przy pomocy dwu pomp tłoczących do prężności od 10 do 40 atmosfer, był połączony z grubościenną rurką szklaną, o kształcie litery U, umieszczoną pod kloszem pompy pneumatycznej. Rurka ta zanurzona była w mieszaninie stałego dwutlenku węgla i eteru. Temperaturę mieszaniny wyznaczał Faraday z ciśnienia, panującego pod kloszem, opierając się na wspomnianej wyżej, a ustalonej przez siebie doświadczalnie zależności jej od ciśnienia zewnętrznego. Do pomiaru ciśnienia, pod jakim znajdowała się ciecz, powstająca ze skroplonego gazu i zbierająca się w chłodzonej części rurki, służył swoistego typu manometr, wtopiony wewnątrz danej rurki. Manometr ten stanowiła rurka, wypełniona powietrzem, oddzielonym od szerszej rurki, w której skraplał się gaz, niewielką ilością rtęci. W miarę wzrastania ciśnienia rtęć opadała głębiej, zmniejszając objętość zawartego pod nią powietrza. Stosując prawo Boyle'a-Mariotte'a można było z objętości, zajmowanej przez powietrze, obliczyć ciśnienie, któremu ono podlegało, a które było, oczywiście, równe ciśnieniu, wywieranemu na ciecz, otrzymaną ze skroplenia.

Przy pomocy tego przyrządu zdołał Faraday nie tylko skroplić cały szereg gazów, które przy



użyciu metody poprzedniej skroplić się nie dały, lecz nawet niektóre z nich zestalić i stwierdzić, że otrzymane na tej drodze ciała stałe posiadają równie ściśle oznaczoną temperaturę topnienia, jak i te ciała, które są stałymi w warunkach normalnych. Oparły się jednak wszelkim próbom skroplenia: wodór, tlen, azot, gaz błotny (CH_4), tlenek azotu (NO) i tlenek węgla (CO). „Jest rzeczą prawdopodobną, pisał Faraday, że w tej temperaturze żadne zwiększenie ciśnienia, chyba nadzwyczaj wielkie, nie może skroplić utworzonego gazu. Otóż temperatura 110° leży dla wodoru, tlenu i azotu ponad tym stopniem, nie należy przeto oczekiwać, aby pod jakimkolwiek ciśnieniem — chyba pod takim, któremu by towarzyszyło zimno o wiele jeszcze większe, niż to, które można było wytworzyć — można je było zmusić do zmiany stanu gazowego.“

Temu związłemu wyjaśnieniu wyników ujemnych brak tylko jednego — sformułowania i określenia pojęcia temperatury krytycznej — aby otrzymać objaśnienie, jakie mogła dać fizyka dopiero w ostatnim trzydziestoleciu wieku 19. Tego ostatniego kroku Faraday nie uczynił, ale go przygotował i umożliwił. Wyznaczenie bowiem przez Faradaya temperatury skroplenia gazu i ciśnienia pary nasyconej otrzymanej cieczy były pierwszymi danymi liczbowymi, dotyczącymi tej dziedziny zjawisk. Klasyczne doświadczenia Regnaulta, głębokie uwagi Mendelejewa o tzw. bezwzględnej temperaturze wrzenia, w której dana ciecz wre bez względu na

wielkość działającego ciśnienia zewnętrznego, są od tej drugiej pracy Faradaya późniejsze. Na tych właśnie pomiarach, zapoczątkowanych przez Faradaya, oparł się w 1869 r. Tomasz Andrews. „Odróżnianie pary i gazu“, pisze on w zakończeniu swej pracy „o ciągłości gazowego i ciekłego stanu materii“, było do dziś dnia oparte na dowolnych zasadach... Punkt krytyczny może służyć za cechę do odróżniania par od gazów... Para jest to gaz w dowolnej temperaturze poniżej swego punktu krytycznego. Według tego określenia para może być zamieniona na ciecz przez samo tylko ciśnienie i może przeto istnieć w obecności swej własnej cieczy, podczas gdy gaz nie może być skroplony przez ciśnienie... Według tego określenia bezwodnik węglowy poniżej 31° jest parą, powyżej 31° gazem, eter poniżej 200° parą, powyżej — gazem“.

I znowu przez długie lata fizycy nie zdołali wprowadzić znaczniejszych udoskonaleń do metody Faradaya. Ani jeden z tych gazów, które oparły się wysiłkom Faradaya, przez 38 lat, jakie upłynęły od chwili ogłoszenia drukiem jego drugiej pracy, skroplony nie został. Honor przewyciężenia trudności, z jakimi borykał się Faraday, a które polegały na niemożności otrzymania dostatecznie niskich temperatur, przypadł po nieudanych próbach Picteta i częściowo tylko udanych doświadczeniach Cailleteta znakomitym uczonym polskim, Zygmunтови Wróblewskiemu i Karolowi Olszewskiemu w 1883 r. Otrzymali oni tlen i azot w stanie

ciekłym, siarczan węgla i alkohol w stanie stałym. Wodór został skroplony w 1898 r. przez fizyka angielskiego Dewara, hel, odkryty w ciążach ziemskich dopiero w ostatnich latach wieku 19 przez Ramsaya, został skroplony w 1908 r. przez słynnego fizyka holenderskiego Kammerlingha Onnesa, zestalony zaś 25 czerwca 1926 r. przez ucznia jego Keesoma w temperaturze $1,1^{\circ}$ skali bezwzględnej, tj. w temperaturze około $271,9$ poniżej zera termometru Celsjusza, pod ciśnieniem 26 atmosfer.

Zadanie, jakie sobie postawił Faraday, skroplenia wszystkich gazów i zestaleni wszystkich cieczy, zostało przeto spełnione dopiero w 59 lat po jego śmierci, dzięki wytrwałej pracy dwu pokoleń fizyków.

Powołanie Faradaya na członka Królewskiego Towarzystwa. Bezpośrednio po ukazaniu się w druku (1823 r.) omawianej wyżej pracy o skraplaniu gazów została postawiona kandydatura Faradaya na członka najdawniejszego w Anglii towarzystwa naukowego tzw. Towarzystwa Królewskiego (Royal Society). Zgłoszenie tej kandydatury oznaczało nie tylko uznanie zasług naukowych młodego uczonego, lecz również zamknięcie przykrew polemiki, jaka wywiązała się z powodu ogłoszonej w 1821 r. pracy z dziedziny elektromagnetyzmu. Pracę tę, o której niżej nieco obszerniej będzie mowa, wykonał Faraday, powtarzając doświadczenia potrzebne mu przy pisaniu krótkiej historii elektromagne-

tyzmu do pisma angielskiego „Roczniki filozofii“ (Annals of Philosophy). Los zdarzył, że odkrycie dokonane przy tej sposobności przez Faradaya było tematem pracy, wykonywanej również w laboratorium Davy'ego przez Wollastona, którego nazwisko cieszyło się w świecie naukowym zasłużonym uznaniem. Wollaston bowiem odkrył, badając rudy platynowe, nieznanę poprzednio pierwiastki, pallad i iryd, udoskonalił budowę mikroskopu i zbudował tzw. goniometr, który pozwolił mierzyć kąty w kryształach z dokładnością, jakiej przedtem nie można było osiągnąć. Ten nieszczęśliwy dla Faradaya zbieg okoliczności wytworzył koło niego atmosferę pełną podejrzeń, w której wyczuć można było oskarżanie go o plagiat. Zgłoszenie więc jego kandydatury i co więcej, podpisanie zgłoszenia przez Wollastona, było jakby rehabilitacją Faradaya, która miała mu wynagrodzić doznane przykrości. Mimo wyraźnie niechętnego stosunku ze strony Davy'ego, będącego podówczas prezesem Towarzystwa Królewskiego, kandydatura Faradaya została dnia 8 stycznia 1824 r. przyjęta wszystkimi głosami przeciwko jednemu, prawdopodobnie głosowi Davy'ego. W tym samym mniej więcej okresie czasu ulega zmianie na lepsze stanowisko Faradaya w Instytucie. Po ustąpieniu Davy'ego z katedry chemii (przy powołaniu go na przewodniczącego T-wa Królewskiego) Faraday zostaje mianowany dyrektorem laboratorium, wkrótce zaś potem w 1827 r. pro-

fesorem na katedrze, którą uprzednio zajmował Davy.

Działalność jego w tych latach nie posiadała jeszcze wyraźnie określonego kierunku. Tematem jego badań były zarówno zagadnienia czysto naukowe, jak i techniczne. Tak np. od roku 1825—1829 był on członkiem komisji powołanej przez T-wo Królewskie do zbadania gatunków szkła, najlepiej nadających się do celów optycznych. Zajęcia w tej komisji, uciążliwe i pochłaniające wiele czasu, nie dały doraźnych wyników: wprowadziły jednak Faradaya w nową dla niego dziedzinę zjawisk, co później oddało mu niemałe usługi. Swym pracom chemicznym, o których wyżej wspomnieliśmy, zawdzięczał Faraday propozycje objęcia dobrze płatnych posad w zarządach fabryk wytworów chemicznych. Faraday propozycje te odrzucił, odmówił również przyjęcia katedry chemii w uniwersytecie londyńskim, postanawiając całą swą wiedzę i zdolności oddać, jak to wyraźnie oświadczył, Królewskiemu Instytutowi, aby w ten sposób odwdziżyć się za opiekę, jakiej od niego doznał w pierwszych najcięższych latach swej pracy naukowej. To postanowienie stało się jakby decydującym momentem w życiu Faradaya. Poświęca się on całkowicie badaniom naukowym, przystępując w 1830 r. do pracy nad zjawiskami elektrycznymi i magnetycznymi, praca, która trwać miała lat trzydzieści i okryć go sławą.

Ówczesny stan nauki o elektryczności i magnetyzmie. Ta właśnie dziedzina badań fizycznych podlegała w owym czasie, jak o tym wyżej już była mowa, największym bodaj przeobrażeniom. Do znanych od dawna a ujętych w ścisłe prawo przez Coulomba (w 1785 r.) zjawisk elektryczności statycznej i magnetyzmu, któ-



Rys. 1. Rysunek z książki Galvaniego zawierającej opis jego doświadczeń.

rych opracowanie teoretyczne, dokonane w znacznej mierze już w 19 wieku przez Laplace'a, Gaussa, Greena i innych, wymagało jedynie zastosowania odpowiednich pojęć matematycznych do dokładnie na ogół zbadanych faktów doświadczalnych, przybyła w tym okresie czasu nowa i przez długi czas bardzo tajemnicza dzie-

dzina zjawisk tzw. galwanicznych, zjawisk, które dzisiaj wiążemy z prądem elektrycznym, elektrycznością w ruchu.

Zjawiska te nazwę swą zawdzięczają lekarzowi bolońskiemu, Galvaniemu (rys. 1). Podczas preparowania żab, potrzebnych mu do badań fizjologicznych zauważył Galvani, że obnażone mięśnie stawów żaby, położone na stole, na którym stała maszyna elektrostatyczna, i dotknięte skalpelem, drgały gwałtownie, gdy między biegunami maszyny przeskakiwała iskra elektryczna. Badania, które na skutek tej obserwacji rozpoczął, doprowadziły go do: twierdzenia, że gwałtowne kurczenie mięśni zachodzi zawsze, gdy mlecz pacierzowy jest łączony z mięśniami udowymi łukiem, zrobionym z dwu przewodników metalowych. Ze swej tak ważnej obserwacji nie zdołał Galvani wyciągnąć należytych wniosków. Zapatrzony w czysto fizjologiczną stronę zagadnienia, przekonany, że znajduje się na drodze odkrycia siły, wprawiającej w ruch mięśnie zwierzęce, nie zwrócił dostatecznej uwagi na warunki fizyczne, w jakich doświadczenie zachodziło. W pracy, streszczającej wyniki swych badań pt. „Alojzego Galvaniego uwagi o siłach elektrycznych w ruchu mięśniowym“, ogłoszonej drukiem w 1791 r., za źródło zjawisk, których ścisłą łączność ze zjawiskami elektrycznymi trafnie ustalił, uważa samo badane zwierzę, a raczej elektryczność, którą ma zawierać każdy organizm zwierzęcy, stwierdzając, że, jeżeli założenia jego są słuszne,

to „utajona i od dawna na próżno poszukiwana istota ducha życiowego nabierze nowego znaczenia.“

Ale już w następnym 1792 r. Aleksander Volta (rys. 2), wielki umysł badawczy, z zadzi-



Rys. 2. ALEKSANDER VOLTA

wiającą przenikliwością uchwycił zasadniczą treść zagadnienia, ustalając, że preparat żabi

odgrywał w doświadczeniach Galwaniego jedynie rolę bardzo czułego elektroskopu, zjawisko zaś samo było uwarunkowane połączeniem wilgotnych części zwierzęcych przez dwa różne metale. Pogląd Volty, zwalczany początkowo przez Galwaniego, został w świetny sposób potwierdzony zbudowaniem w 1800 r. przez Voltę stosu, w którego skład nie wchodził żaden organizm zwierzęcy, a którego działania fizjologiczne (na smak, wzrok) były identyczne z działaniem przyrządu Galwaniego. Ten stos Volty, składający się z płytek srebrnych i cynkowych, przedzielonych wilgotnymi porowatymi ciałami, jak papier, skóra, był pierwszym źródłem prądu elektrycznego, umożliwiającym systematyczne badanie zjawisk galwanicznych, jak w rycerskim uznaniu zasług Galwaniego nazwał je Volta (rys. 4).

Zakres tych badań, ograniczony początkowo prawie wyłącznie do zjawisk chemicznych, zachodzących przy przechodzeniu prądu, rozszerzył się nagle i niespodziewanie, gdy duńskiemu fizykowi, Hansowi Christianowi Oerstedowi, udało się stwierdzić odchylenie igły magnetycznej przez prąd, płynący w kierunku równoległym do igły.

Związek między elektrycznością i magnetyzmem był od dawna przedmiotem wytrwałych poszukiwań.

„Bardzo wielkie podobieństwo pomiędzy magnetyzmem a elektrycznością — pisze w starannie ułożonym podręczniku fizyki do użytku

szkół wojewódzkich Jan Kanty Krzyżanowski (wyd. 1825 r.) — wskazują wspólnie obydwom służące prawa przyciągania, odpychania, tudzież rozdziału¹⁾). Niemniej w stosie Volty... podobne postrzegać się dają zdarzenia, jak i w magnesie, to jest, że nie tylko dwa końce przeciwnie odmiennie sprawują skutki, ale nadto podzielone na drobne części, każda część w podobnym stanie być się okazuje jak i całość. Dla tych i tym podobnych styczności wielu fizyków jest tego zdania, że ta sama siła działająca jest przyczyną zdarzeń, tak elektrycznych jak i magnetycznych“. Próby jednak ustalenia tej wspólnej „przyczyny zdarzeń“ obracały się ciągle w kole dobrze znanych zjawisk elektryczności statycznej, którą w ten lub inny sposób starano się związać z magnetyzmem.

Pojawienie się przeto w lecie 1820 r. opisu doświadczeń Oersteda wywarło ogromne wrażenie. Opis ten, w języku łacińskim zredagowany i opatrzonej pamiętną od tej chwili w dziejach fizyki datą 21 lipca 1820 r., Oersted rozesłał do znakomitszych uczonych europejskich. Jak gdyby chcąc się zabezpieczyć od możliwej nieufności czytelników, zaraz w pierwszym ustępie swej rozprawy zaznacza, że choć już dawniej, podczas wykładów, jakie wygłosił w ziemie 1819—1820 r., a których tematem były zjawiska elektryczności, galwanizmu i magnety-

¹⁾ indukcji.

zmu, stwierdził odchylenie igły magnetycznej przez prąd, to jednak „ze względu, że otrzymane zjawiska wydawały się niewystarczającymi wobec wagi zagadnienia, prosiłem o pomoc przyjaciela mego, radcę sądowego Esmarcha, aby z nim razem powtórzyć doświadczenia przy pomocy dużego zbudowanego przez nas przyrządu. Również uczestnikiem i świadkiem naszych doświadczeń był..“ I tu następuje wyliczenie nazwisk pięciu świadków doświadczeń Oersteda.

Doświadczenia te zostały w parę tygodni później powtórzone w Genewie przez de la Rive'a wobec grona wybitnych uczonych szwajcarskich i francuskich: Picteta, de Saussure'a, Arago, wielkiego chemika francuskiego Jana Dumasa, fizyka Prévosta, jednego z pierwszych badaczy zjawisk promieniowania i innych. Grono to zrozumiało od razu, jak wielki przewrót w fizyce zapowiadają te proste na pozór doświadczenia. *Novus rerum nascitur ordo* — nowy rodzi się porządek rzeczy — taka ocena odkrycia Oersteda wyrwała się wtedy z ust Prévosta. Zdanie to podzielał niejeden, jeżeli nie wszyscy goście pracowni de la Rive'a. Podzielał je niewątpliwie Arago, uczony o dużej i wszechstronnej inteligencji, który na kilka lat przedtem umiał ocenić znaczenie badań optycznych nieznanego inżyniera prowincjonalnego, Fresnela. Zaraz po przyjeździe do Paryża złożył Akademii Nauk sprawozdanie z tego, co widział w Genewie.

W protokole posiedzenia Akademii z dnia 4 września 1820 r. czytamy: „Pan Arago składa sprawozdanie z doświadczeń, wykonanych przez



Rys. 3. ANDRZEJ AMPÈRE

p. Oersteda i dotyczących wzajemnego wpływu elektryczności i magnetyzmu. Pan de la Rive powtórzył w Genewie doświadczenie uczonego

Duńczyka z całkowitym powodzeniem. Panu Arago powierzyła Akademia powtórzenie przed nią tych doświadczeń w następny poniedziałek“. Protokół z dnia 11 września stwierdza tylko: „Pan Arago powtarza przed Akademią doświadczenia p. Oersteda“.

Można z całą pewnością twierdzić, że dopiero na tych właśnie posiedzeniach dowiedział się o odkryciu fizyka duńskiego Andrzej Ampère (rys. 3), znany poprzednio raczej jako matematyk, profesor analizy matematycznej w szkole politechnicznej. I oto protokół następnego z kolei posiedzenia Akademii z dn. 18 września zawiera suchą wzmiankę: „Pan Ampère odczytał rozprawę, dotyczącą nowych zjawisk galwanomagnetycznych“. Jaka była treść tej rozprawy, dokładnie nie wiemy. Ampère, oddając swe rozprawy do druku, tyle razy je przerabiał, że nie raz trudno odkryć pierwotną myśl pod późniejszymi uzupełnieniami.

W krótkiej notatce, opatrzonej datą 18 września, Ampère tak streszcza swój odczyt: „Opisałem przyrządy, które zamierzam zbudować i między innymi spirale i śruby galwaniczne. Zapowiedziałem, że te ostatnie wywieirałyby w każdym przypadku to samo działanie, co magnesy. Podałem następnie pewne szczegóły co do sposobu, w jaki pojmuję magnesy, jako zawdzięczające swe własności jedynie prądom elektrycznym w płaszczyznach prostopadłych do ich osi, i co do podobnych prądów, jakich istnieje zakładam w kuli ziemskiej, tak że sprowa-

dziłem wszystkie zjawiska magnetyczne do zjawisk elektrycznych“. Notatka następną z 25 września zawiera streszczenie drugiej rozprawy, przedstawionej Akademii. „Rozwinąłem bardziej tę teorię i zawiadomiłem o nowym fakcie przyciągania lub odpychania dwu prądów elektrycznych bez pośrednictwa jakiegokolwiek magnesu, fakcie, który zaobserwowałem na przewodnikach zwiniętych spiralnie. Powtórzyłem to doświadczenie podczas posiedzenia.“

Te dwie pierwsze prace zawierały więc prawie wszystkie zasadnicze poglądy Ampère'a: stwierdzenie, że prąd płynący przez spiralnie zwinięty przewodnik wywiera to samo działanie magnetyczne co magnes, którego oś byłaby równoległa do osi spirali; że przewodniki z prądem odpychają się lub przyciągają podobnie jak magnesy; że wreszcie, jak wobec tego, można przypuszczać, własności magnesów dadzą się wyjaśnić zjawiskami elektrycznymi, w nich zachodzącymi, a mianowicie, istnieniem w każdej cząstce magnesu prądów drobnych, wywierających na zewnątrz działania magnetyczne.

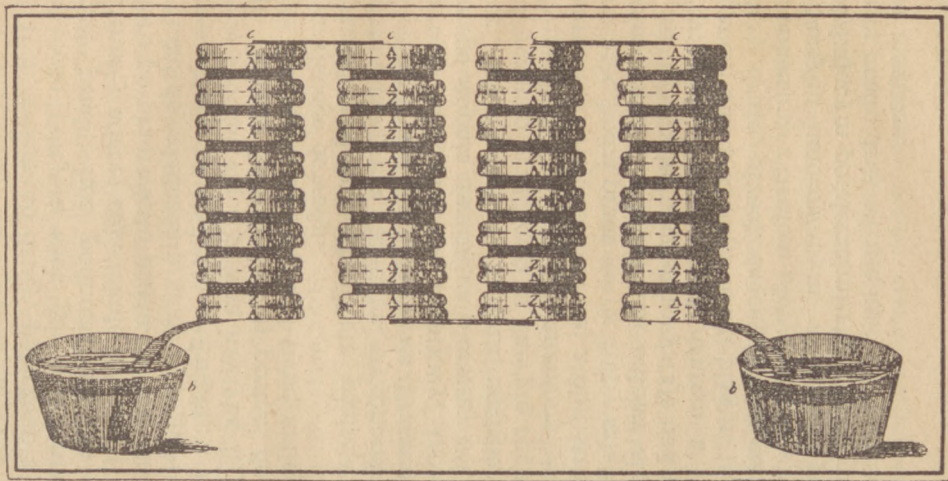
O wielkiej pracy myślowej, jaką wtedy wykonał, pisze Ampère do swego syna w liście z dnia 25 września tegoż roku: „... wszystkie chwile miałem zajęte przez sprawy wielkiej wagi dla całego mojego życia. Od czasu, gdy usłyszałem o pięknym odkryciu przez pana Oerstedę, profesora w Kopenhadze, działania prądów galwanicznych na namagnesowaną igłę,

ciągle o nim myślałem i nic innego nie robiłem poza pisaniem wielkiej teorii zarówno tych zjawisk jak i tych, dotyczących magnesu, które były znane dawniej, oraz próbami wykonywania doświadczeń, wskazanych przez tę teorię. Wszystkie te doświadczenia się udały i pozwoliły poznać nowe fakty.“ Pierwszą swoją teorię rozwijał i pogłębiał Ampère w całym szeregu prac późniejszych, których koroną była „rozprawa o teorii matematycznej zjawisk elektrycznych, wyprowadzonej jedynie z doświadczenia“, nosząca datę 1823 r., lecz ogłoszona dopiero w 1827 r. Treścią jej było ustalenie, w sposób, stanowiący wzór metody naukowej, równoważności magnesu i prądu w działaniu na zewnątrz i ujęcie w matematyczne wzory praw, rządzących wzajemnym działaniem prądów elektrycznych.

Pierwsze prace Faradaya z dziedziny elektromagnetyzmu. Prace Ampère'a nie mogły, rzecz prosta, nie być znane w Anglii. Że znał je dobrze Faraday, tego dowodzi ogłoszona w 1822 roku praca, zawierająca drobną przeróbkę doświadczenia, wykonanego uprzednio przez Ampère'a i de la Rive'a i mającego wykazać odpychanie wzajemne sąsiednich części prostoliniowego przewodnika, przez który przepływa prąd elektryczny. Układ doświadczenia Faradaya był następujący: na jednym z ramion wagi wisiał łukowato wygięty drut miedziany, którego zamalgamowane końce zanurzone były

w naczynkach, napełnionych rtęcią. Gdy do naczyn tych zanurzano druty, połączone z biegunami stosu Volty (a więc, gdy przez łuk przechodził prąd), łuk podnosił się na wysokość mniej więcej cala (około 2,5 cm) i opadał dopiero po przerwaniu prądu. Należy dodać, że ten układ doświadczenia, podobnie, jak i analogiczny układ doświadczenia Ampère'a i de la Rive'a, spotkał się z pewną krytyką i, jak się zdaje, słuszną; istotnie, w tej postaci doświadczenie Faradaya nie stanowi bynajmniej przekonywającego dowodu.

Samodzielniejszy charakter posiada wcześniejsza nieco praca Faradaya, wykonana w 1821 r., o której wyżej już była mowa. Przyrząd, którego opis stanowi treść rozprawy, można do pewnego stopnia uważać za pierwszy *sui generis* motor elektryczny, w którym energia prądu elektrycznego przechodzi w energię ruchu i co za tym idzie, może być zamieniona w pracę. W rurce szklanej, zamkniętej z obu stron korkami, przechodzi przez korek dolny sztabka namagnesowana. Na korek ten nalewa się rtęci, tak że część tylko magnesu wystaje nad poziom cieczy; rtęć połączona jest drutem z jednym biegunem stosu, którego drugi biegun jest przy pomocy drutu, przechodzącego przez górny korek, połączony z drutem platynowym, wiszącym na haczyku umocowanym w korku górnym i dotykającym powierzchni rtęci. Przy przechodzeniu prądu drut wiruje koło wystającego bieguna magnesu.



Rys. 4. Pierwszy stos Volty.

Ważniejszy bodaj dowód żywego zainteresowania się Faradaya tymi zagadnieniami stanowi jego korespondencja z Ampère'm, w której ten znakomity uczony z całą prostotą dzieli się swymi poglądami i nawet przeżyciami ze stawiającym dopiero pierwsze kroki na polu naukowym Faradayem. W jednym z listów, pisząc o zarzutach, z jakimi stopniowo zaczęły się spotykać jego prace — szczególnie ze strony wielkiego Laplace'a — Ampère z pogodą filozofa przytacza zdanie Cicerona: *opinionum commenta delet dies naturae judica confirmat* — czas przekreśla błędne mniemania, potwierdza zaś wyroki przyrody — zdanie, które niewątpliwie często powtarzał wtedy sobie, choć innymi zapewne słowami. Faraday, przeżywając opisany wyżej zatarg z Wollastonem i broniąc się od niesłusznych oskarżeń.

W owej jednak epoce udział Faradaya w wielkim ruchu naukowym, jaki powstał po odkryciu Oersteda i Ampère'a, wyraził się tylko w tych dwu niewielkich stosunkowo pracach.

Odkrycie indukcji elektromagnetycznej. Dopiero w 1831 r. udało mu się rozwiązać zagadnienie, nad którym długi czas bezskutecznie pracował — zagadnienie indukcji magnetoelektrycznej. Dość trudną byłoby rzeczą wyraźnie wskazać punkt wyjścia poszukiwań Faradaya. Niejakie wskazówki daje nam Faraday we wstępie do ogłoszonej w 1832 r. pracy, zawierającej wyniki jego badań z poprzedniego roku. „Pew-

ne działania indukcyjne prądów są już znane... Nie wydaje się jednak rzeczą prawdopodobną, aby w ten sposób miały być wyczerpane wszystkie możliwe zjawiska, wywołane przez indukcję prądów elektrycznych... 3.¹⁾ Ponieważ następnie każdemu prądowi elektrycznemu towarzyszy działanie magnetyczne, prostopadłe do jego kierunku, byłoby, zarówno według pięknej teorii Ampère'a, jak każdej innej, czymś bardzo niezwykłym, gdyby podobny prąd nie miał w obrębie swego działania wzbudzać w dobrych przewodnikach prądu lub równoważnej siły. 4. Te rozważania i wynikająca z nich nadzieja, że uda się otrzymać wzbudzenie elektryczności przez zwykły magnetyzm, skłaniały mnie różnymi czasami do wykonywania doświadczeń nad indukcyjnym działaniem prądów elektrycznych²⁾.

Początkowe poszukiwania działań „indukcyjnych“ prądu zakończyły się niepowodzeniem. O pierwszej bodaj tego rodzaju próbie umieszcza Faraday pod dn. 28 listopada 1825 r. następującą notatkę w swoim dzienniku: „Doświadczenia nad indukcją przez druty, połączone

1) Jak o tym była mowa, Faraday numerował ustępy swoich prac; numerację tę zachowaliśmy we wszystkich cytatach.

2) Terminowi „indukcja“, wziętemu z elektrostatyki, Faraday nadawał szersze niż zwykle znaczenie określając nim właściwość, „dzięki której prądy elektryczne przeprowadzają ciała sąsiednie ze stanu obojętnego w stan szczególny“.

z baterią woltaiczną... bieguny połączone drutem, długim mniej więcej na cztery stopy (około 120 cm), do niego równolegle inny drut, oddzielony od niego jedynie dwiema grubościami papieru; końce tego drutu były połączone z galwanometrem; nie wykazał żadnego działania.“ Podobna próba, wykonana później z drutami, nawiniętymi spiralnie jeden obok drugiego na drewnianym walcu, również nie wykazała, aby przepływanie prądu w jednym drucie powodowało powstanie prądu w drugim.

Dopiero w 1831 r. Faraday zdołał uchwycić istotę tak długo poszukiwanego zjawiska: przy nawinięciu drutów takim, jak poprzednio (spiralnie jeden obok drugiego), łączenie jednego drutu z baterią wywoływało „nagle, lecz bardzo słabe działanie na galwanometr, podobnie ujawniało się słabe działanie przy przerywaniu tego połączenia. Dopóki jednak prąd elektryczny płynął przez jeden z drutów spiralnych, nie można było zauważyć żadnego śladu jakiegokolwiek działania, mimo że bateria była bardzo silna.“

Analogiczne wyniki dało i następujące doświadczenie „...zamiast galwanometru wzięłem drut, nawinięty spiralnie na szklaną rurkę i do rurki włożyłem igłę stalową; następnie wzbudzający drut¹⁾ połączyłem jak poprzednio z baterią; okazało się, gdy igłę wyjąłem przed przer-

¹⁾ dziś powiedzielibyśmy „obwód pierwotny“.

waniem tego połączenia²⁾, że igła jest namagnesowana. 14. Gdy naprzód było ustalone połączenie z baterią i gdy dopiero wtedy wkładałem nienamagnesowaną igłę do małej spirali, to po przerwaniu połączenia igła była, jak się zdaje, równie silnie namagnesowana jak poprzednio, lecz bieguny jej leżały odwrotnie... 16. Gdy nienamagnesowaną igłę włożyłem do małej spirali przed połączeniem wzbudzającego drutu z baterią i wyjąłem ją dopiero po przerwaniu tego połączenia, igła posiadała mało magnetyzmu lub nawet wcale go nie posiadała, pierwsze bowiem działanie było zniweczone przez drugie“.

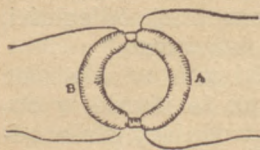
Podobne działanie indukujące można otrzymać przy zbliżaniu lub oddalaniu dwu obwodów. „...Drut miedziany o długości wielu stóp był zygzakowato na kształt litery W rozpięty na jednej stronie szerokiej deski; podobnie na innej desce był rozpięty inny drut; jeden z tych drutów był połączony z galwanometrem, drugi z baterią voltaiczną. Gdy pierwszą deskę z jej drutem szybko przvbliżyłem do drugiej, igła się odchyliła, odchyliła się również przy oddalaniu, ale w przeciwną stronę... Gdy przestawano poruszać drutem, igła wkrótce wracała do swego zwykłego położenia. 19. Przy wzajemnym przybliżaniu drutów prąd indukowany miał kierunek przeciwny do indukującego. Przy oddalaniu wzajemnym drutów prąd wzbudzo-

²⁾ obwodu pierwotnego z baterią.

ny miał ten sam kierunek, co wzbudzający. Gdy druty pozostawały w niezmienniej odległości, nie było żadnego prądu indukowanego.“

Co więcej, gdy w obwód wtórny włączone jest ogniwo galwaniczne, tak że płynie w obwodzie tym stały prąd, powodujący stałe odchylenie igły galwanometru, działanie indukcyjne obwodu pierwotnego bynajmniej nie znika, lecz ujawnia się, podobnie jak w poprzednich przypadkach, w chwilowym zwiększeniu lub zmniejszeniu odchylenia igły galwanometru. „21. Stąd wynika, że płynące obok siebie prądy, w kierunku jednakowym lub przeciwnym, nie wywołują wzajemnie żadnej stałej indukcji, która by zakłócała ich napięcie lub napięcie.“

Po ustaleniu tych podstawowych zjawisk przechodzi Faraday do doświadczeń, w których rolę obwodu pierwotnego odgrywa magnes. Teoria Ampère'a o równoważności działań magnetycznych magnesu i prądu pozwalała ponieść z góry przewidzieć wynik doświadczenia. Faraday jednak nie poprzestał na prostym uogólnieniu swych doświadczeń z prądem, lecz z całą cechującą go systematycznością przedsięwziął wszechstronne zbadanie zjawiska, starając się je wyjaśnić możliwie dokładnie, nie zostawiając miejsca na żadne wątpliwości. I oto zaraz pierwsze z opisanych przez niego doświadczeń dało wynik, który, co prawda, nie był w żadnej sprzeczności z teorią Ampère'a, ale który, niewątpliwie, z niej bezpośrednio nie wynikał.



Rys. 5.

Według Faradaya.

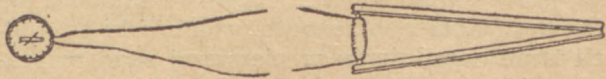
Na pierścieniu żelaznym (rys. 5) były nawinięte w tym samym kierunku dwa druty, izolowane zarówno od siebie, jak i od żelaza. „28 Zwoje B były połączone drutami miedzianymi z galwanometrem, o trzy stopy (około 90 cm) odległym od pierścienia, druty zaś A... z ba-

terią o 10 parach czterocalowych płyt¹⁾. Natychmiast ujawniło się działanie na galwanometr i przy tym o wiele silniejsze, niż poprzednio, gdy użyto bez współdziałania żelaza baterii dziesięć razy silniejszej. Jakkolwiek jednak bateria była nadal włączona, działanie nie było trwałe; wkrótce wróciła igła do swego normalnego położenia. Przy przerywaniu obwodu igła znów została silnie odchylona i przy tym w przeciwną stronę, niż uprzednio... 31. Gdy użyto tego pierścienia i baterii o stu parach płyt, impuls udzielony galwanometrowi był tak silny, że igła obracała się w kółko pięć do sześciu razy, zanim opór powietrza i magnetyzm ziemski nie sprowadził tego obracania się dokoła osi do zwykłych wahań.“

1) Napięcie takiej baterii, której każde ogniwo składa się z płytek miedzianej i cynkowej, zanurzonych w rozcieńczonym kwasie siarkowym, wynosi około 10 woltów.

Zwiększanie się natężenia prądu indukowanego przy nawinięciu drutów na rdzeń żelazny stwierdził Faraday bezpośrednio, wywołując odchylenie igły galwanometru wtedy, gdy obydwa obwody, wzajemnie izolowane, były nawinięte na rurkę tekturową, wewnątrz próżną, i wtedy, gdy do rurki był włożony kawałek miękkiego żelaza. W tym drugim przypadku odchylenia były znacznie większe, jakkolwiek nie tak wielkie, jak wtedy, gdy żelazo tworzyło pierścień zamknięty. Zastąpienie żelaza miedzią — ciałem niemagnetycznym — dało wynik ujemny.

Związku danego zjawiska z magnetycznymi właściwościami ciał dowodzi również doświadczenie następujące. Do końców walca z miękkiego żelaza, włożonego, jak poprzednio, do tekturowej rurki, na której był nawinięty drut, połączony z galwanometrem, przykładano bieguny magnesów tak, aby każdy koniec walca dotykał różnoimiennego bieguna (rys. 6). „37.



Rys. 6.

Według Faradaya.

Przy nakładaniu magnesów na walec żelazny igła się odchyłała; gdy jednak zetknięcie to trwało dłużej, wracała do swego początkowego położenia; przy przerywaniu połączenia odchy-

łała się w przeciwną stronę, niż poprzednio, i następnie wracała do dawnego położenia... 38. Przy nakładaniu magnesów na sztabkę żelazną prąd wtórny miał, jak to poznać można było z odchylenia (igły galwanometru), kierunku odwrotny do tego prądu, który by tak namagnesował sztabkę żelazną, jak to w rzeczywistości nastąpiło wskutek zetknięcia z magnese-
sem.“

Liczne doświadczenia, wykonane przez Faradaya, a których część zaledwie przytoczyliśmy, usprawiedliwiały całkowicie wniosek, którym Faraday zakończył tę część swej pracy, stanowiącą pierwszą serię „badań doświadczalnych nad elektrycznością.“

„58. Podobieństwo, ba, prawie równość działań zwykłego magnesu i elektromagnesu oraz prądów Volty jest niespodziewanym potwierdzeniem teorii pana Ampère'a i dostarcza poważnych podstaw do mniemania, że działanie to w obu przypadkach jest jednakowe.“

Sam jednak charakter zjawiska nie był wtedy jasny Faradayowi. Początkowo zakładał on, jak to wynika z obszernego ustępu, jaki poświęcił temu zagadnieniu w pierwszej swej rozprawie, że przechodzenie prądu elektrycznego, przybliżanie lub wzbudzanie magnesu wprawia sąsiednie przewodniki w pewien szczególnie stan, który Faraday nazwał „po naradzie z wielu uczonymi przyjaciółmi“ elektrotonicznym. Hipotezę tę jednak wkrótce odrzucił. „... I jakkolwiek, pisze w drugiej z rzędu swej rozprawie,

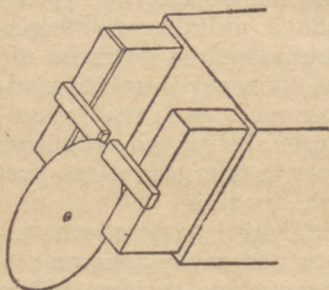
nie uważam za rzecz nieprawdopodobną, aby drut, spoczywający w sąsiedztwie innego, przez który przechodzi silny prąd elektryczny, był całkowicie względem tamtego obojętny, nie znam żadnego faktu, który by upoważniał do wniosku, że znajduje się on w jakimś szczególnym stanie.“

Ten ustęp, tak charakterystyczny dla sposobu rozumowania Faradaya, unikającego stawiania założeń, których bezpośrednia potrzeba nie wynika z doświadczeń, był oparty na doświadczeniach, przeprowadzonych nad tzw. zjawiskiem Arago, doświadczeń, opisanych częściowo już w pierwszej rozprawie, obszerniej zaś rozpatrzonych w rozprawie drugiej.

W 1826 r. Arago zauważył następujące zjawisko. Gdy umieszczona pod zawieszoną na nitce kokonowej igłą magnetyczną pozioma tarcza miedziana została wprawiona w szybki ruch obrotowy, igła zaczęła się również obracać w tę samą stronę, jak gdyby była przez tarczę porywana. Zarówno Arago, jak i inni fizycy, którzy po nim badali to zjawisko, przypisywali ruch igły szczególnemu rodzajowi magnetyzmu, powstającemu w tarczy podczas jej ruchu obrotowego. Ten to właśnie magnetyzm „obrotowy“ działał przyciągająco na igłę i wprawiał ją w ruch.

Faraday zjawiska Arago powiązał ze swymi doświadczeniami, odrzucając całkowicie sztuczną hipotezę magnetyzmu obrotowego. Przedewszystkiem stwierdził, że w płycie miedzianej,

obracanej między biegunami magnetycznymi, powstają prądy elektryczne indukowane, identyczne do tych, jakie otrzymywał Faraday w poprzednich swych doświadczeniach przy zbliżaniu lub oddalaniu magnesu od przewodnika. Doświadczenie było wykonane w sposób następujący:

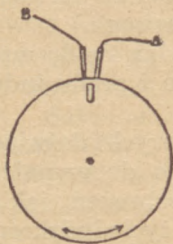


Rys. 7. Według Faradaya.

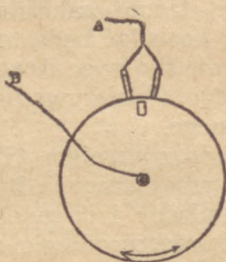
„...Tarcza tak była ustawiona, jak wskazuje rysunek (rys. 7). Jeden z drutów przewodzących do galwanometru, był dwa czy trzy razy swobodnie okręcony dookoła mosiężnej osi tarczy, drugi umocowany na przewodniku, który był ręką nałożony na poamalgamowany

brzeg tarczy... pomiędzy biegunami magnesu. Gdy przy takim urządzeniu wszystko jeszcze było w spoczynku, igła galwanometru nie wykazywała żadnego odchylenia; dopiero w chwili, gdy tarcza została wprowadzona w ruch, igła się odchyliła, przy szybszym obracaniu, o więcej niż 90° . ..91. Gdy tarcza była obracana w kierunku przeciwnym, igła również się odchyliła z tą samą siłą, co poprzednio, w stronę przeciwną, co było dowodem, że wzbudzony prąd elektryczny płynął teraz w przeciwnym, niż poprzednio, kierunku“. Przy połączeniu galwanometrem dwu

jednakowo odległych od bieguna magnesu punktów tarczy, (rys. 8, gdzie prostokąt na tarczy oznacza położenie bieguna, druty A i B są drutami prowadzącymi do galwanometru) prąd przez galwanometr nie płynął. „96... Gdy jednak obydwie przewodniki połączono z jednym drutem, oś zaś z drugim (rys. 9), galwanometr wykazywał przechodzenie prądu...; obydwie przewodniki działały tu zgodnie i przy tym jak pojedynczy przewodnik.“



Rys. 8.
Według Faradaya.



Rys. 9.
Według Faradaya.

Zarówno te doświadczenia, jak i inne, w których tarcza była zastąpiona przez paski metalowe lub druty, „...dowodzą, że gdy kawałek metalu (i prawdopodobnie jakiegokolwiek ciała przewodzącego) jest poruszany przed pojedynczym biegunem lub między różnoimiennymi biegunami magnesu lub w pobliżu bieguna elektromagnesu, powstają w metalu prądy elektryczne o kierunku prostopadłym do kierunku ruchu, prądy, których kierunek jest w doświad-

czeniu Arago bliski do kierunku promienia (tarczy). Niech zwykły drut obraca się podobnie, jak szprycha w kole, w pobliżu bieguna magnesu, wzbudzony wtedy prąd elektryczny będzie płynął wzdłuż niego. Wyobraźmy sobie koło, złożone z wielkiej ilości takich szprych i wprowadzone w ruch obrotowy tak, jak tarcza miedziana, w pobliżu bieguna, wtedy w każdej szprysze powstanie prąd elektryczny... Przyjmijmy, że szprychy dotykają się bokami, otrzymamy tarczę miedzianą, w której na ogół prądy posiadać będą ten sam kierunek.

Zjawisko więc Arago sprowadza się do wzajemnego oddziaływania magnesu i prądu indukowanego.

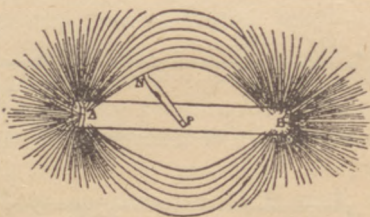
Ukoronowaniem tych epokowych doświadczeń, prowadzących bezpośrednio do wynalazku prądnicy i do wielkich przeobrażeń, jakim wskutek tego podległo społeczne życie ludzkości, doświadczeń wykonanych tak niesłychanie prostymi środkami, było stwierdzenie indukcyjnego działania magnetyzmu ziemskiego.

„...Gdy drut, zwinięty spiralnie, był ustawiony w kierunku igły nachyleń¹⁾ i następnie odwrócony, można było zauważyć słabe działanie na igłę magnetyczną. Po dziesięć i dwunastokrotnym odwracaniu w takich odstępach czasu, aby siły odchylające, wywierane przez

¹⁾ Tak nazywamy igłę magnetyczną, mogącą się obracać około osi poziomej; igła ta przyjmuje kierunek natężenia pola magnetycznego ziemskiego, na ogół różny od poziomego.

wzbudzone prądy, zwiększały moment (obrotowy) igły, doszła ona wkrótce do wahań od 80° do 90° . Tutaj przeto, bez żadnej pomocy ciała, zawierającego żelazo, były wzbudzone prądy elektryczne przez bezpośrednią siłę indukcji magnetyzmu ziemskiego... Doświadczenie to dało pod każdym względem te same zjawiska, jakie powstawały przy przybliżeniu podobnych spirali do jednego lub obydwu biegunów silnej sztaby magnetycznej". Odkrycia tego, z góry zresztą przez siebie przewidzianego, dokonał Faraday 5 grudnia 1831 r.

Opierając się na wszystkich tych doświadczeniach, Faraday doszedł do wniosku, że zjawisko indukcji wywołane jest przez ruch prze-



wodnika po- Rys. 10.

Według Faradaya.

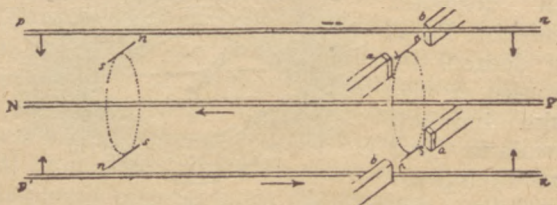
przez „krzywe

magnetyczne.“ Tym terminem oznacza on „znane linie, wzdłuż których układają się w pobliżu magnesu opiłki żelazne“ — (rys. 10), nie przypisując im zresztą żadnych szczególnych własności fizycznych. Podobne krzywe muszą oczywiście istnieć nie tylko w pobliżu magnesu, lecz i w pobliżu przewodnika, przez który przepływa prąd; taki bo-

wiem przewodnik wywiera na zewnątrz działania analogiczne do działań magnesu. Z kształtu tych krzywych można było zdać sobie sprawę na podstawie doświadczeń Oersteda i zwłaszcza Ampère'a.

„232. Gdy prąd elektryczny przepływa przez drut, drut ten w każdym punkcie otaczają krzywe magnetyczne, które stają się coraz słabsze, w miarę wzrastania odległości od drutu, a które można przyrównać do pierścieni, leżących w płaszczyznach prostopadłych do drutu.

233. Gdy przez drut N P (rys. 11) przechodzi w kierunku od P do N prąd elektryczny, to



Rys. 11.

Według Faradaya.

oznaczony punktami pierścień będzie wyznaczał otaczającą prąd krzywą magnetyczną i w tym kierunku ustawią się ruchome igły magnetyczne, tak jak to wskazuje rysunek, gdzie *n* i *s* oznaczają bieguny północny i południowy.

234. Gdy jednak przerwiemy na chwilę prąd elektryczny i użyjemy magnesów do nadania

kierunku igłom magnetycznym, to dla nadania igłom tego położenia, jakie miały poprzednio należy magnesy ustawić tak, jak na rysunku¹⁾, to znaczy bieguny **a b** nad drutem muszą być przeciwnie skierowane do biegunów **a' b'** pod drutem. W takim bowiem położeniu krzywe magnetyczne między biegunami **a b** i **a' b'** mają na ogół, ten sam kierunek, co odpowiednie części pierścieniowatych krzywych magnetycznych, otaczających drut, przez który przechodzi prąd elektryczny.

235. Gdy teraz drugi drut pn zbliżamy do głównego drutu, przewodzącego prąd elektryczny, drut ten przecina pewną liczbę krzywych magnetycznych o podobnym kierunku, jak odtworzone (na rysunku), a więc o podobnym kierunku, jak krzywe między biegunami **a b** magnesu i przy tym drut ten przecina krzywe prądu w ten sam sposób, w jaki by przecinał krzywe magnesu, gdybyśmy go przesuwali z góry na dół. Takie jednak przecinanie krzywych magnesu wzbudziłoby w drucie prąd elektryczny od p do n; a ponieważ krzywe prądu posiadają to samo rozmieszczenie, musi przeto przecinanie ich wywołać ten sam skutek. I tak w rzeczywistości zachodzi, przy przybliżeniu bowiem powstaje prąd wtórny o kierunku przeciwnym do prądu głównego.

1) **a** i **a'** są biegunami dodatnimi.

236. Gdy przesuwamy drut p'n' z dołu do góry, przechodzi on między biegunami w kierunku przeciwnym, ponieważ jednak i bieguny mają również położenie przeciwne, prąd wtórny posiada kierunek przeciwny¹⁾).

237. Gdy drugi drut jest w spoczynku względem prądu głównego, nie powstaje w nim żaden prąd, gdyż nie przecina żadnej krzywej magnetycznej. Gdy go oddalamy od drutu głównego, przecina krzywe magnetyczne w kierunku przeciwnym do poprzedniego; wskutek tego prąd wzbudzony będzie miał kierunek odwrotny do poprzedniego, tzn. ten sam kierunek, co prąd główny“.

W podobnie prosty sposób wyjaśnia Faraday powstawanie prądów indukowanych przy otwieraniu i zamykaniu prądu głównego oraz wtedy, gdy obydwa przewodniki nawinięte są na rdzeniu żelaznym. W pierwszym przypadku należy przyjąć, „że krzywe magnetyczne poruszają się (o ile można się tak wyrazić) prostopadle względem drugiego drutu od chwili powstania prądu do chwili największego jego natężenia; to rozchodzenie się krzywych wywiera to samo działanie, jak w tym przypadku, gdy drugi drut porusza się względem tych krzywych lub drutu przewodzącego prąd. Przy wyłączaniu prądu voltaicznego można sobie wyobrazić, że krzywe magnetyczne... ściągały się i wracały do znikającego prądu, posuwały się więc w przeciw-

¹⁾ do prądu głównego.

nym kierunku prostopadle do drutu, wskutek czego został wzbudzony prąd wtórny o kierunku przeciwnym do poprzedniego.

239. Gdy w doświadczeniach ze zwykłymi magnesami wzbudza się je w sąsiedztwie drutów zamiast je do nich przybliżać, można założyć, że zachodzi wtedy stopniowe powstawanie krzywych magnetycznych.“

To zadziwiająco przejrzyste wyjaśnienie zjawisk indukcji, w którym są już zawarte podstawy teorii rozchodzenia się działań elektromagnetycznych, tak świetnie później rozwinięte przez Maxwella, stanowi logiczne zamknięcie dwu pierwszych rozpraw Faradaya, poświęconych badaniu zjawisk elektrycznych.

Stwierdzenie istnienia indukcji własnej. Nasuwało ono jednak od razu dalsze zagadnienia, wynikające z zupełnie prawdopodobnego przypuszczenia, że „krzywe magnetyczne“, powstające przy zamykaniu obwodu z prądem, powinny by wywierać działania indukcyjne nie tylko w przewodnikach sąsiednich, lecz również i w tym przewodniku, przez który płynie prąd wzbudzający dane krzywe magnetyczne — innymi słowy, że obok indukcji wzajemnej istnieje indukcja własna. To właśnie zagadnienie rozpatruje Faraday w dziesiątej części swych badań, ogłoszonej w 1835 r., dochodząc jednak do niego nie na drodze logicznego rozwijania wniosków pierwszych dwu swych prac, lecz przez obserwację różnic w wielkości i jasności iskier elek-

trycznych, przeszkakujących przy przerywaniu połączenia między biegunami ogniwa voltaicznego.

Gdy drut łączący bieguny stanowił uzwojenie elektromagnesu, tak że prąd z ogniwa płynął przez elektromagnes, „całkowite zamykanie obwodu nie wzbudzało żadnej iskry, przy przerywaniu jednak połączenia powstawała bardzo duża i jasna iskra... Podobnie rzecz się miała z uderzeniem. Gdy ręce były zwilżone słoną wodą i znajdowały się w dobrym zetknięciu z trzymanymi w rękach drutami, nie można było przy zamykaniu obwodu odczuć żadnego uderzenia, przy przerywaniu natomiast odczuwało się bardzo silne wstrząśnienie. 1061. Gdy jako łączącego przewodnika użyto drutu, spiralnie zwiniętego, przy przerywaniu obwodu pojawiała się dobra iskra, przy zamykaniu zaś iskry nie było... 1063. Gdy do spirali włożono kawałek miękkiego żelaza, stawał się on elektromagnesem i siła¹⁾ wzrastała. Wkładanie do spirali sztabki miedzianej nie wywoływało żadnych zmian; działanie pozostaje takie, jak przy użyciu samej tylko spirali... 1065. Dla porównania rozciągniętego drutu ze spiralą używano kolejno, jako przewodników łączących, spirali, której zwoje miały łączną grubość 96 stóp, i drutu tej samej długości i grubości, rozciągniętego na podłodze laboratorium. Spirala dała w chwili przerywania połączenia o wiele jaśniejszą iskrę...

¹⁾ wzbudzania iskier.

1067. Przy użyciu krótkiego drutu znikły wszystkie te działania. Gdy długość jego wynosi zaledwie dwa do trzech cali, trudno jest otrzymać przy przerywaniu iskrę. W przypadku jednak, gdy ma on dziesięć do dwunastu cali długości i jest w miarę gruby, łatwiej otrzymać małą iskierkę“.

Po ustaleniu w ten sposób wpływu długości przewodnika, jego kształtu i własności magnetycznych, przechodzi Faraday do sprawdzenia, czy te wszystkie cechy obwodu działają bezpośrednio na przebieg zjawiska, zachodzącego przy przerywaniu prądu, czy też jedynie w sposób pośredni, a mianowicie, wpływając na wielkość natężenia prądu i napięcia na biegunach ogniwa.

Badanie to, niewątpliwie, nastęrczało Faradayowi szczególne trudności; pojęcia bowiem natężenia prądu i napięcia nie były dla niego pojęciami zupełnie jasnymi.

Na początku wieku 19 dwum bodaj tylko terminom, używanym do dziś dnia w elektryczności, odpowiadały mniej lub więcej ściśle oznaczone pojęcia, a mianowicie, ilości elektryczności i napięciu. Przez ilość elektryczności rozumiano od czasów Coulomba wielkość, która warunkuje wzajemne oddziaływanie mechaniczne dwu ciał naelektryzowanych. Siła, z jaką działają na siebie dwa ciała naelektryzowane, może służyć za miarę ilości elektryczności, pomiar więc jej nastęrczać może jedynie trudności doświadczalne. Doświadczenie jednak wskazy-

wało, że obok tej stosunkowo ściśle określonej wielkości w zjawiskach elektrycznych dużą rolę odgrywa jeszcze inna wielkość, niewątpliwie do zdefiniowania trudniejsza. Naelektryzujemy zwyczajny elektroskop dwulistkowy, łącząc go na chwilę z naelektryzowanym przewodnikiem. Listki się rozchyłają, co będzie dowodem, że pewna ilość elektryczności przeszła z przewodnika na elektroskop. Jakkolwiekbyśmy jednak przedłużali zetknięcie z przewodnikiem, rozchylenie listków po dojściu do pewnej wartości powiększać się nie będzie, chociaż niecały, bynajmniej, nabój przeszedł z przewodnika na elektroskop; zjawisko zachodzić będzie pozornie tak, jak gdyby listki pobrały tyle elektryczności, ile tylko mogły i „nasyciły się“ nią. Otóż, objaśnienie takie okazuje się niesłuszne: połączone z innym przewodnikiem listki mogą się rozchylić bardziej, przyczyna więc leży w pewnym stanie elektrycznym przewodnika. Analogiczne zjawiska spotykamy w innych dziedzinach fizyki: gdy zetkniemy ze sobą dwa niejednakowo ogrzane ciała, ciepło przechodzi z ciała cieplejszego do zimniejszego dopóty, dopóki temperatury się nie wyrównają; gdy połączymy dwa zbiorniki, napełnione gazem o niejednakowym ciśnieniu, gaz uchodzić będzie ze zbiornika o ciśnieniu wyższym dopóty, dopóki prężności gazów nie staną się równe. Być może, że ta właśnie analogia przychodziła na myśl badaczom końca 18 wieku i że dlatego oznaczyli ów stan elektryczny słowem, podobnym do termi-

nu „ciśnienie“ lub „prężność“, nazywając go napięciem elektrycznym. Faktem jest, że już Volta w 1782 r. zdawał sobie sprawę z istoty napięcia elektrycznego, jakkolwiek wielkość tę inaczej nazywał: „...przez ten wyraz rozumiem dążenie elektryczności do uchodzenia ze wszystkich części naelektryzowanego ciała, któremu to dążeniu odpowiada szczególnie stopień podniesienia się elektrometru“.

Dopiero jednak Jerzy Ohm w szeregu prac, z których ostatnia ogłoszona została w 1826 r., ustalił ściśle związek, jaki zachodzi między napięciem na biegunach baterii ogniów Volty, natężeniem prądu elektrycznego i własnościami przewodnika, przez który prąd przepływa, i tym sposobem powiązał wielkości, odpowiadające elektryczności w spoczynku, z wielkościami, charakteryzującymi jej ruch.

Można z całą pewnością twierdzić, że Faraday, który na ogół uważnie śledził postępy wiedzy, pracy Ohma nie znał, jakkolwiek w Anglii była ona dość głośna. Być może, że sposób rozumowania Ohma, prawie wyłącznie matematyczny, uniemożliwił genialnemu samoukowi, nie znającemu matematyki, zapoznanie się z niezwykle ważnym prawem, ustalonym przez Ohma. Być może również, że odegrała tu rolę pewna cecha umysłowości Faradaya, która nie pozwalała mu na operowanie pojęciami i posługiwanie się prawdami, których istnienia sam nie sprawdził i których dokładnie nie przetrwał; cecha ta uniemożliwiła mu później zrozu-

mienie zasady równoważności ciepła i pracy, mimo wielkich w tym względzie wysiłków z jego strony i ze strony Maxwella, który próbował mu ją wytłumaczyć.

Toteż Faraday, mówiąc o prądzie elektrycznym, kierował się raczej intuicją w ustaleniu jego własności, niż ściśle sformułowanymi pojęciami. Nic też dziwnego, że terminologia, której używa, jest często chwiejna i niejasna. Wystarczy jednak ją ujednostajnić według obowiązujących nas obecnie wymagań, aby nawet te ustępy prac Faradaya nabrały tej samej przejrzystości, co i inne.

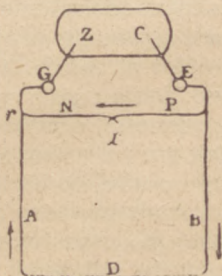
„1071. Dopóki prąd płynie, od chwili zamknięcia do chwili przzerwania obwodu nie zachodzi żadna zmiana w natężeniu prądu... Aby ten punkt wyjaśnić użyto spirali i galwanometru dla połączenia obwodu małego ogniwa i zauważono odchylenie galwanometru. Następnie włożono do spirali sztabę żelazną i stwierdzono, że gdy ustąpiło chwilowe działanie¹⁾ i igła przybrała położenie stałe, stanęła na tej samej podziałce, co poprzednio.“ Podobnie można stwierdzić, że i napięcie ogniwa nie ulega zmianie przy zmianie kształtu przewodnika, łączącego bieguny, lub nawinięciu go na żelazie. Co więcej, również wielkość natężenia prądu, płynącego w obwodzie, nie odgrywa roli decydują-

¹⁾ Przy przybliżaniu żelaza powstaje prąd indukowany, żelazo bowiem magnesuje się w tych warunkach.

cej. „1073... Przy użyciu krótkiego przewodnika drut platynowy... był przez prąd stały doprowadzony do stanu żarzenia, a mimo to z trudnością można było zauważyć iskrę przy otwieraniu obwodu.“

Zjawia się więc pytanie, gdzie ma siedlisko prąd, który powoduje powstanie iskry przy przerywaniu obwodu, czy w drutach, łączących bieguny ogniwa, czy też w samym ogniwie. Jakkolwiek „to, że iskra w miejscu zetknięcia ogniwa i drutu nie powstaje wskutek bezpośredniego działania tego pierwszego, lecz wzbudzona jest bezpośrednio przez siłę, wywieraną w drucie łączącym, wydaje się... nie podlegającym wątpliwości“, mimo to jednak Faraday poczuwa się do obowiązku stwierdzenia tego faktu w bezpośrednim doświadczeniu.

„1079... Na rysunku Z i C wyobrażają cynkową i miedzianą płytę ogniwa, G i E zagłębienia z rtęcią, które pozwalają ustalić połączenie lub je przerywać, A i B są końcami D, długiego drutu, spirali lub elektromagnesu, użytego do zamknięcia obwodu; N i P są drutami poprzecznymi, które albo stykają się ze sobą w x albo połączone są galwanometrem“.



Rys. 12.
Według Faradaya.

Jest rzeczą oczywistą, że gdy przerwiemy połączenie z ogniwem, wyjmując drut z zagłę-

bienia w G lub E przez drut N P będzie mógł przepływać jedynie prąd, mający swe siedlisko w obwodzie r A D B. Otóż okazało się, że gdy przy przerywaniu połączenia końce drutów N P były umieszczone w należytym od siebie oddaleniu, w punkcie x przeskakiwała iskra, podczas gdy w punktach G i E, w których obwód był przerywany, żadnej iskry zauważyć się nie dało. W ten sposób Faraday stwierdza, że ów „ekstraprąd“, jak go nazywa, a który mogliśmy nazwać prądem otwarcia, ma swe źródło istotnie w obwodzie, łączącym bieguny ogniwa. Kierunek i natężenie tego prądu ustala Faraday w następującym doświadczeniu. „1087. Otrzymano najbardziej pouczające wyniki, gdy w punkcie x włączono galwanometr. Gdy użyto w D elektromagnesu i ustalono (w G i E) połączenia, odchylenie igły magnetycznej wykazało przepływanie prądu od P do N, a więc w kierunku strzałki; drut ten przeto służył do przewodzenia części wzbudzonej przez ogniwo elektryczności, obwód zaś A B D do przewodzenia, jak na to wskazuje strzałka, pozostałej i przy tym o wiele większej części. Otóż, jeżeli igłę doprowadzimy przy pomocy kołeczków, umieszczonych po przeciwnych stronach obydwu jej końców do położenia zwykłego, w którym igła by się znajdowała, gdyby prąd na nią nie działał i następnie przerwiemy połączenie przy G lub E, wtedy odchyli się ona w przeciwną stronę i wykaże, ...że ekstraprąd posiada w drucie po-przecznym kierunek odwrotny do wskazanego

przez strzałkę tzn. do kierunku prądu wzbu-
dzonego przez ogniwo¹⁾).

Na podstawie tych doświadczeń Faraday wy-
powiada przypuszczenie, że „ekstraprąd jest
identyczny z prądem, opisanym w pierwszej
serii tych badań“ tzn. z prądem indukowanym
i przechodzi do doświadczalnego potwierdzenia
swego założenia. „1092... Gdy prąd przepływa
przez drut i gdy równoległe do niego znajduje
się inny drut, tworzący obwód zamknięty, to
w chwili przerywania prądu w pierwszym dru-
cie w drugim powstaje prąd o tym samym kie-
runku, pierwszy zaś daje wtedy słabą jedynie
iskrę; gdy natomiast drugi drut jest odsunięty,
przerwanie połączenia w pierwszym drucie po-
woduje powstanie w tymże drucie prądu o tym
samym kierunku, dającym silną iskrę. A więc
silna iskra, powstająca w zwykłym długim dru-
cie lub spirali w chwili przerywania połączenia,
jest równoważnikiem prądu, który by powsta-
wał w drucie sąsiednim...”

* Trudno o bardziej przekonujące i jednocześ-
nie prostsze stwierdzenie faktu, że źródło prądu
indukowanego i prądu otwarcia jest jedno i to
samo. Gdy powstają obydwie te prądy w dwu
sąsiednich obwodach, suma ich energii jest, jak
wynika z tego doświadczenia Faradaya, równa

1) Gdy prąd płynie przez NP w kierunku prze-
ciwnym do kierunku strzałki, w obwodzie B A D
prąd musi płynąć w kierunku strzałki, a więc prąd
otwarcia posiada ten sam kierunek co prąd stały.

energii prądu otwarcia, powstającego w pojedynczym obwodzie, dostatecznie odległym od innych. Energia ta jest, jak dzisiaj wiemy, równa energii pola magnetycznego, wytworzonego przez prąd stały i znikającego w chwili przerywania prądu. Faraday, nie znając pojęcia energii, które w owym czasie z wielkim trudem powstawało, aby dopiero w pracach Mayera, Joule'a i Helmholtza znaleźć swe sformułowanie, posługiwał się nim jednak intuicyjnie, jak na to wskazuje dalszy ustęp jego rozprawy. „1195. Przez użycie elektromagnesu działanie jeszcze bardziej wzrasta, gdyż żelazo, namagnesowane przez prąd stały, traci swój magnetyzm w chwili przerywania prądu i gdy to następuje, wzbudza prąd elektryczny w nawiniętym na żelazo drucie.“ Stąd wynika, że gdy pole magnetyczne, wytworzone przez prąd, jest słabe, gdy więc, używając terminologii Faradaya „krzywe magnetyczne“, opasujące przewodnik z prądem, są rzadkie, prąd otwarcia ma natężenie niewielkie. Istotnie, doświadczenie wniosek ten potwierdza. „1096. ...Gdy np. długi drut będzie przez środek złożony tak, że prąd w obydwu połowach będzie musiał wywierać działanie przeciwne, nie powinien on dawać przy otwarciu ogniwa iskry. I tak jest w rzeczywistości, drut bowiem, owinięty w jedwab, złożony przez środek i dokładnie stykający się aż do odległości 4 cali od końca, nie daje w tym stanie żadnej iskry, którą by można zauważyć; tymczasem ten sam drut rozciągnięty daje bardzo dobrą iskłę.“ Natężenie

prądu otwarcia nie zależy przy tym od wielkości istniejącego pola magnetycznego, lecz od wielkości pola, znikającego przy przerywaniu prądu. „1100... Hartowana stal lub magnes, włożony do spirali, nie są tak czynne, jak miękkie żelazo... Powód leży po prostu w tym, że działanie nie zależy od trwałego stanu jądra (żelaznego lub stalowego), lecz od zmiany tego stanu i że magnes lub hartowana stal nie może tak szybko zmieniać swego stanu w chwili przerywania prądu, jak miękkie żelazo.“

Można z pewnym uzasadnieniem przypuszczać, że przy zamykaniu obwodu powinny zachodzić zjawiska analogiczne, lecz o kierunku przeciwnym do zjawisk, zachodzących przy przerywaniu prądu, „prąd bowiem elektryczny wywiera w chwili swego powstawania równie silne działania indukcyjne, co w chwili swego zanikania, lecz w odwrotnym kierunku“. Dla sprawdzenia, czy tak jest w rzeczywistości, Faraday wprowadza nieznaczną zmianę do układu swych poprzednich doświadczeń. W położeniu, do którego dojdzie igła galwanometru, włączonego w gałąź poprzeczną (rys. 12) przy x, pod działaniem prądu elektrycznego, umocowuje ją odpowiednimi kołeczkami, aby nie mogła odchylić się w stronę przeciwną. „1103... Przy przerwaniu więc zetknięcia przy G lub E nie ujawni się oczywiście żadne działanie¹⁾; gdy

¹⁾ igła bowiem tak zamocowana nie będzie mogła wrócić do położenia zerowego, a tym bardziej odchylić się poza zero.

następnie obwód powtórnie zamkniemy, igła natychmiast odchyli się od zatrzymujących ją kołeczków, tak że odchyli się bardziej ze swego zwykłego położenia, niż pod działaniem stałego prądu. Ta chwilowa nadwyżka prądu w przewodzie poprzecznym wykazuje chwilowe zmniejszenie się prądu w łuku ABD.“ Prąd więc w chwili swego powstawania ma natężenie mniejsze, w chwili zaś swego zanikania większe niż wtedy, gdy działania indukcyjne nie zachodzą.

Używając terminologii współczesnej, możemy stwierdzić, że ani przy zamykaniu ani przy przerywaniu obwodu natężenie prądu nie wyraża się prawem Ohma, którego stosowanie ogranicza się przeto do prądów ustalonych. Źródłem tego odstępstwa jest indukcja własna — indukcyjne oddziaływanie prądu powstającego, a raczej pola magnetycznego, wzbudzanego przez powstający prąd, na przewodnik, przez który prąd ten płynie. Zjawiska te „można, jak się zdaje, odtworzyć przez krzywe magnetyczne; są one, o ile można sądzić w wewnętrznym związku z siłami magnetycznymi, jeżeli nie są z nimi zupełnie identyczne.“

Ostatnie z przytoczonych wyżej doświadczeń Faradaya pozwala stwierdzić jeszcze jedną ciekawą własność prądów otwarcia i zamknięcia. Prąd płynący przez obwód nie rozdziela się przy swym powstawaniu w rozgałęzieniach tak, jak po ostatecznym ustaleniu. Wtedy natężenie jego w danej gałęzi jest zależne jedynie od

oporów rozgałęzień i ich stosunku — przy powstawaniu prąd możliwie omija te części przewodnika (łuk ABD), które są źródłem prądów indukowanych, a więc których indukcja własna jest większa. Faktu tego Faraday wyraźnie nie podkreślił, niemniej jednak to jego doświadczenie było pierwszym stwierdzeniem istnienia tzw. „oporu pozornego“ przewodnika, wielkości, odgrywającej ważną rolę w teorii prądów zmiennych.

Ogólnymi uwagami o ścisłej współzależności zjawisk elektrycznych i magnetycznych kończy Faraday tę część swej pracy z dziedziny indukcji magnetoelektrycznej. Dalszy rozwój nauki niewiele już do niej doda. Opracuje ją, pogłębi, ujmie we wzory matematyczne, nie dostarczy jednak znacniejszego materiału doświadczalnego. Czytając opis tych sumiennych, krok za krokiem posuwanych badań, w których każde założenie poparte jest bezpośrednimi dowodami, rozpatrzone ze wszystkich stron, nieraz trudno się oprzeć wrażeniu, że Faraday w jakimś niezwykłym natchnieniu z góry przewidział wszystkie wyniki swej pracy, że nie stanowiły one dla niego niespodzianki i że sprawozdanie, jakie ze swych badań składa, jest właściwie popularnym wykładem rzeczy, które są dla niego jasne i bezsporne. Dopiero rozsiane gdzieniegdzie uwagi w tekście, w których Faraday z całą szczerością się przyznaje, że w pewnych przypadkach oczekiwał innego wyniku, niż ten, do którego doszedł, wskazują nam, że jest to

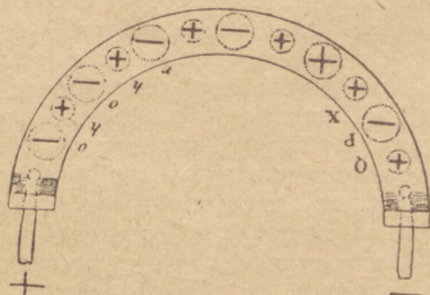
złudzenie, wywołane genialną przenikliwością tego wielkiego badacza przyrody, który kierowany nieomylnym przeświadczeniem, nadawał swym badaniom kierunek taki, jaki najprędzej prowadził go do celu.

Badania chemicznych działań prądu. Trzy lata, oddzielające ogłoszenie badań nad indukcją własną od daty ukazania się pierwszej i drugiej serii prac, wypełnił Faraday gruntowną i szczegółową analizą zjawisk chemicznych, towarzyszących przechodzeniu prądu przez tzw. elektrolity i powstawaniu prądu w ogniwie.

Ta dziedzina zjawisk była jedną z najbardziej bodaj badanych i opracowywanych dziedzin galwanizmu. Od chwili, gdy w parę zaledwie miesięcy od zbudowania przez Voltę pierwszego stosu (1800 r.) Carlisle stwierdził wydzielanie się gazów z kropli wody, w której zanurzone były druty, połączone z biegunami stosu Volty, nie było prawie roku, w którym by nie ukazywały się prace, próbujące wyjaśnić tę lub inną stronę zjawiska. Co prawda zagadnień, jakie się nasuwały tutaj badaczom, było mnóstwo. Już w najprostszym stosunkowo zjawisku — rozkładzie wody przez prąd elektryczny — fakt jednoczesnego pojawiania się na jednym z drutów, zanurzonych do wody, wodoru, na drugim — tlenu, nie był łatwy do wyjaśnienia. „Chciałbym wiedzieć, pisał jakiś niepodpisany korespondent do wydawcy naukowego pisma Nicholsona, w jaki sposób może się to zdarzyć,

aby składowe części wody mogły się pojawiać w takiej odległości jedna od drugiej. Czy wodór z rozłożonej cząstki wody leci w stronę cynku ogniwa w tej samej chwili, gdy powstaje tlen przy płytce srebrnej? Jeżeli tak, dlaczego się nie widzi po drodze pęcherzyków gazowych? lub może wędruje tlen od płytki srebrnej do cynkowej? A może zachodzą jednocześnie obydwa prądy?“

To jednak podstawowe dla wyjaśnienia całego zjawiska zagadnienie nie mogło być w należyty sposób rozwiązane bez dokładnego zbadania wszystkich warunków, w jakich rozkład może zachodzić pod działaniem prądu: warunków, czy to ściśle chemicznych, czy też bliżej lub dalej związanych z fizyczną stroną zagadnienia — natężeniem prądu i napięciem ogniw użytych do rozkładu. Toteż teoria, jaką dał w 1805 r. dwudziestoletni Chrystian Grotthus, nie mogła być całkowicie wystarczająca; na te-



Rys. 13.

Według Grotthusa.

orie dokładniejszą i lepiej odpowiadającą istotnemu przebiegowi zjawisk trzeba było czekać przeszło trzy ćwierci wieku, do roku 1883 — do prac znakomitego fizyka szwedzkiego Svante Arrheniusa.

Grotthus założył, że (rys. 13) każda drobina wody składa się z dwu przeciwnie naelektryzowanych części — wodoru i tlenu.

W chwili powstawania prądu elektrycznego obojętna dotychczas elektrycznie drobina wody rozpada się na swe części składowe. Drobina, najbliższa drutu dodatniego, traci swój atom tlenu, ponieważ jednak „wszystkie atomy tlenu, jakie znajdują się na drodze prądu, nabywają dążenia do poruszania się ku biegunowi dodatniemu“, „wszystkie zaś na tej samej drodze położone atomy wodoru dążą do bieguna ujemnego“, na miejsce straconego atomu tlenu przychodzi inny, pochodzący z dalej położonej drobiny wody i w ostatecznym wyniku z drobiny, znajdującej się w bezpośrednim pobliżu drutu ujemnego, powstaje atom wodoru, który wydziela się na drucie. Teoria Grotthusa dawała niewiele więcej, niż opis zewnętrznej strony zjawiska, wyjaśnienie, dlaczego nie widzimy prądu gazu, płynącego przez wodę. Związku jednak samego zjawiska z przepływaniem prądu elektrycznego bynajmniej nie wyjaśniała, przeciwnie, z pewnych ustępów pracy Grotthusa wynikały wnioski, które bardzo niekorzystnie zaciążyły na rozwoju elektrochemii. Pierwszy wniosek dotyczył samego powstawa-

nia prądu, drugi — powstawania „biegunowości“, jak zjawisko to nazywa Grotthus, drobiny wody.

Grotthus uważał, że ruch naelektryzowanych atomów jest czymś różnym od prądu elektrycznego, przepływającego przez ciecz, stanowi „uzupełnienie działającego ogniwa“ i w ten sposób dwa te zjawiska wyraźnie rozgraniczał. Można było również wnioskować, że rozpadnięcie się obojętnej drobiny wody na naelektryzowane części składowe zachodzi dopiero pod działaniem prądu elektrycznego. Odpowiedni bowiem ustęp pracy Grotthusa nie był dostatecznie jasny: „Stos Volty . . . jest elektrycznym magnesem, którego każdy element (tzn. każda para płytek) posiada swój biegun ujemny i dodatni. Rozważanie tej biegunowości naprowadziło mnie na myśl, że podobna biegunowość może powstać między drobinami wody, gdy znajdują się pod działaniem czynnika elektrycznego“.

Teoria Grotthusa dawała jednak, mimo wszystkie swe braki, jaką taką odpowiedź na pytania, postawione przez wspomnianego wyżej anonimowego korespondenta. Gorzej było z ujęciem badanych zjawisk w jakiegokolwiek liczbowe związki, gorzej również z zasadniczą sprawą, która od chwili odkrycia Volty na dwa obozy podzieliła świat naukowy — gdzie należy szukać źródła działań ogniwa.

Opierając się na fakcie, stwierdzonym przez siebie doświadczalnie, że dwa różne metale,

elektrycznie obojętne, stają się naelektryzowane po wzajemnym zetknięciu, Volta założył, że źródła napięć elektrycznych, powstających na dwu biegunach stosu elektrycznego i powodujących przy połączeniu biegunów tych przewodnikiem przepływ prądu elektrycznego, szukać należy w miejscach zetknięcia się dwu różnych metali, a raczej przewodników pierwszej klasy, jaką to nazwą Volta oznaczał wszystkie na ogół przewodniki stałe. Przewodniki drugiej klasy — ciekłe — odgrywały w tym zjawisku rolę jakkolwiek ważną, lecz niewątpliwie drugorzędną: umożliwiały one budowę ogniwa. Własności bowiem elektryczne przewodników pierwszej klasy były tego rodzaju, że można z nich było, jak to ustalił Volta, ułożyć pewien szereg, w którym ciało wyżej stojące elektryzowało się przy zetknięciu z innym, zajmującym w szeregu miejsce niższe, zawsze dodatnio i to tym bardziej, im dalej od siebie w danym szeregu znajdowały się obydwaj przewodniki. Wobec tego w układzie, złożonym z jakichkolwiek trzech przewodników pierwszej klasy, napięcia powstające w miejscach zetknięcia, wzajemnie się znoszą, co uniemożliwia powstawanie prądu elektrycznego.

„...To prawidłowe stopniowanie w siłach elektrycznych metali i na ogół przewodników pierwszej klasy, mówił Volta w odczycie, wygłoszonym 2 listopada 1801 r. w paryskim Instytucie w obecności pierwszego konsula, Napoleona Bonapartego, pozbawia nas możliwości

zbudowania przyrządu z samych metali, co byłoby, oczywiście, o wiele wygodniejsze i trwa-

Rys. 14. Aleksander Volta objaśnia w Paryżu Pierwszemu Konsulowi, Napoleonowi Bonaparte, zasadę swych słosów elektrycznych¹⁾.



sze... Na szczęście, między przewodnikami

¹⁾ Według obrazu Bertiniego.

pierwszej klasy i drugiej nie zachodzi żaden taki prawidłowy stosunek i żadne tak oznaczone stopniowanie“. Oto dlaczego są one konieczne w ogniwie.

Założenia Volty co do miejsca powstawania napięć nie były, bynajmniej, nieprawdopodobne: aż do ostatnich prawie czasów znajdowały one wśród fizyków gorących obrońców, wysilających się na coraz to nowe doświadczenia, mające potwierdzić słuszność hipotez wielkiego fizyka włoskiego. Volta jednak wyciągnął z nich dalsze wnioski, które w następstwie wiele zamętu wprowadziły do fizyki. Nie poprzestając na przypisaniu miejscu zetknięcia dwu metali znaczenia decydującego, sam fakt zetknięcia uznał za wystarczający do wytworzenia trwałej różnicy potencjału na biegunach ogniwa. Stąd bezpośrednio wynikał pogląd, któremu Volta dał wyraz w przytoczonym wyżej od-czycie, że, ogólnie biorąc, utworzenie ogniwa z ciał stałych jest w zasadzie możliwe. „Wystarczyłoby do tego celu odkrycie stałego przewodnika bez jakiegokolwiek siły wzbudzającej (lub posiadającego ją w innym zupełnie związku), który by można umieścić zamiast wilgotnego przewodnika między parą płytek metalowych — odkrycie, które wydaje mi się, co prawda, bardzo trudne, ale nie całkowicie niemożliwe“.

Że takie ogniwo, stale dostarczające prądu elektrycznego i nie podlegające przy tym żadnym zmianom, byłoby czymś w rodzaju perpetuum mobile, z tego zdawał sobie sprawę

Volta, co wyraźnie podkreślił w opisie stosu i ogniwa, ogłoszonym w 1800 r. „Ten niekończący się obieg płynu elektrycznego (to perpetuum mobile) może się wydać paradoksalnym, niepojętym, niemniej jest on prawdziwy i rzeczywisty, można go, że tak powiem, ująć ręką“.

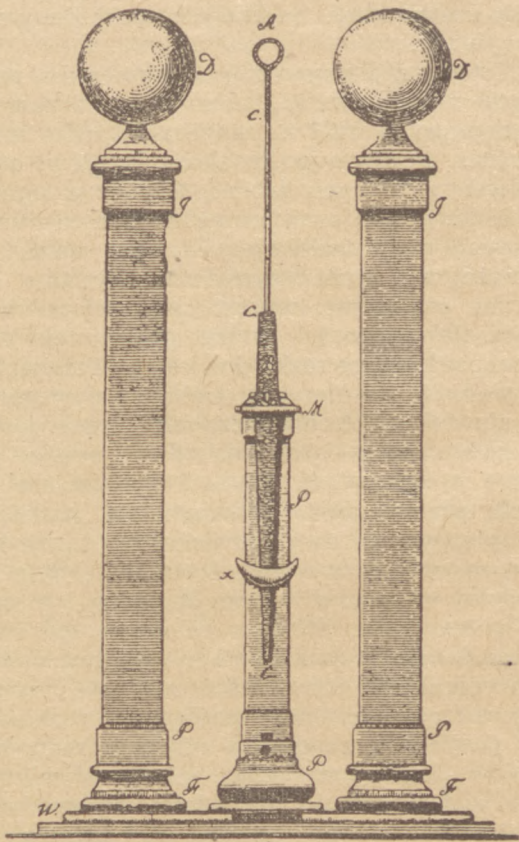
Wielka powaga naukowa Volty na długie lata pogląd ten utrwałała. W szerokich kołach ludzi, przygodnie zajmujących się nauką, ba nawet w pewnych sferach naukowych, zaczęto próbować budowy przyrządów, mających realizować chimerę wiecznej energii. Jeden z przyrządów tego typu, pomysłu de Luca, w którym lekkie wahadełko, wahając się między przeciwnymi biegunami dwu stosów Volty ustawionych pionowo, uderzało w małe dzwoneczki, cieszył się szczególnym powodzeniem. Poważny miesięcznik angielski „Philosophical Magazine“¹⁾ podawał przez długi czas wiadomości o działaniu tych zabawek. Jedna z nich puszczona w ruch 14 marca 1810 r. działała do 18 listopada tegoż roku. Los jednak tego typu przyrządów, działających dopóty, dopóki nie wyschły krążki papieru lub wołoku, umieszczone między płytkami metalowymi, nie przekonywał bynajmniej zwolenników „perpetuum mobile“. Chciano je widzieć w tzw. suchym stosie, zbudowanym w 1813 r. przez Zamboniego, nauczyciela li-

¹⁾ Wychodzący do dziś dnia jako jedno z najważniejszych pism naukowych.

ceum w Veronie (rys. 15); jeszcze w 1824 r. znakomity twórca drugiej zasady termodynamiki, Sadi-Carnot zwracał uwagę, że „nieraz uważano przyrząd elektrobodźczy (stos Volty) za mogący wytworzyć ruch wieczny; starano się urzeczywistnić tę myśl, budując stosy suche, rzekomo nie podlegające zmianom. Ale mimo wszelkich starań w tym kierunku przyrząd zawsze doznawał znacznych uszkodzeń, gdy działał przez pewien czas z pewną energią“.

Kres tym próbom, niewiele pożytku przynoszącym nauce, położyło dopiero sformułowanie, a raczej przeniknięcie do świadomości ogółu, zasady zachowania energii i, co za tym idzie, niemożliwości „perpetuum mobile“; ale to nastąpiło znacznie później.

Do badań tych zjawisk, tak złożonych, tak w gruncie rzeczy niedokładnie znanych, przystąpił w owym czasie Faraday. Należy przyznać, że był do nich, jak mało kto, przygotowany. Świat uczonych angielskich, w którym ciągle przebywał, posiadał wielu bardzo poważnych badaczy zjawisk elektrochemicznych, z których, bezsprzecznie, na pierwszy plan wysunął się opiekun i nauczyciel Faradaya, Humphrey Davy, wsławiony odkryciem dwu nieznanych poprzednio pierwiastków: potasu i sodu, otrzymanych z rozłożenia wodzianu potasu i sody przez prąd elektryczny. Faraday znał, rzecz prosta, prace Davy'ego w najdrobniejszych szczegółach, w ostatniej jego pracy, ogłoszonej w 1826 r. brał bezpośredni udział



Rys. 15. Elektryczne perpetuum mobile Zamboniego.

i wykonał, jak to stwierdził Davy, znaczną część doświadczeń, na których oparł Davy swoje wywody.

Toteż już pierwsza z prac tego cyklu, stanowiąca trzecią serię „badań doświadczalnych“ i ogłoszona w 1833 r., zawierała bardzo ważne wyniki. Porównując działanie prądów, otrzymanych z różnych źródeł, a więc z ogniwa, z maszyny elektrostatycznej lub wreszcie wzbudzonych przez indukcję, Faraday ustalił, że w każdym z tych przypadków działanie chemiczne prądu jest wprost proporcjonalne do ilości elektryczności, która przepłynęła przez dane, podlegające rozkładowi ciało. Ten kapitalny wniosek był pierwszą próbą ilościowego ujęcia zjawisk elektrochemicznych i rzucał jaskrawe światło na związek zachodzący między procesem przepływania prądu i zjawiskiem rozkładu przewodnika. Zjawiało się naturalnie pytanie, czy te dwa zjawiska nie są ze sobą nierozzerwalnie związane. Pytanie to było tym bardziej usprawiedliwione, że jedno i to samo ciało, np. woda, która w zależności od swego stanu skupienia mogła być lub nie być dobrym przewodnikiem, jednocześnie z utratą przewodnictwa traciła zdolność podlegania rozkładowi pod działaniem prądu. Na całym szeregu przykładów Faraday stwierdza, że w przypadku takich ciał „...ilekroć zachodziło przewodzenie, występował również rozkład, gdy ustawał rozkład, kończyło się przewodzenie. Stąd ważnym staje się zagadnienie: czy przewodnictwo nie

jest w tych przypadkach, gdy prawo to ¹⁾ obowiązuje, nie tylko skutkiem możliwości rozłożenia, lecz wprost istotnym rozkładem“.

Samo postawienie tego zagadnienia przekreślało teorię Grotthusa, który uważał rozkład za zjawisko poboczne, jedynie towarzyszące przepływowi prądu; rozwiązanie go wymagało gruntownego zbadania całego zjawiska rozkładu. Zgodnie ze swym zwyczajem Faraday oparł je na całym szeregu starannie dobranych doświadczeń i krytycznym rozpatrzeniu wszystkich, podówczas istniejących, zapatrywań.

Jednym z najbardziej rozpowszechnionych było założenie, wypowiedziane jeszcze przez Grotthusa, że rozkład jest wywołany przez przyciąganie, lub odpychanie od biegunów ogniw rozkładanych substancyj, zupełnie według tego samego prawa, jakie obowiązuje w przypadku wzajemnego działania dwu nabojuw elektrycznych. Prawo to stwierdza, jak wiadomo, że siła, z jaką działają na siebie dwa naboje, jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między nimi. Wynikałoby stąd przeto, że działanie przyciągające lub odpychające obydwu biegunów maleje wraz z odległością przyciąganych lub odpychanych cząstek od drutów, doprowadzających prąd elektryczny. Grotthus rozumiał, że wniosek ten jest w wyraźnej sprzeczności z mechanizmem rozkładu, jaki sam ustalił,

¹⁾ to znaczy w przypadkach tych ciał, o których wyżej była mowa.

a szczególnie z założeniem, że każda pojedyncza drobina znajduje się bez względu na swe położenie wewnątrz cieczy pod działaniem stałej siły, lecz uniknąć tej sprzeczności mimo wyrażnych o to starań nie zdołał. Następcy Grotthusa poszli znacznie dalej. Davy twierdził, że rozkład zachodzi jedynie w pewnej odległości od biegunów, dalsza część cieczy rozkładowi na ogół nie podlega; słynny francuski fizyk, Biot, przy całej ostrożności, z jaką starał się sformułować swe twierdzenia w tej na ogół obcej dla siebie dziedzinie, doszedł do tych samych, co Davy, wniosków. Niewiele od tych poglądów odbiegały zapatrywania i innych fizyków, jak np. zasłużonego badacza zjawisk elektrochemicznych, de la Rive'a, o którym już niejednokrotnie wyżej była mowa. Wszystkie te teorie stwierdziły, że „...rozkład zachodzi przy obydwu biegunach w oznaczonych częściach cieczy, nie zachodzi zaś wcale w częściach, leżących między nimi. Te ostatnie służą jedynie za niedoskonałe przewodniki, które z chwilą nabycia stanu elektrycznego, przepędzają przez siebie w przeciwnym kierunkach silniej naelektryzowane przy biegunach cząstki za pomocą szeregu zwykłych przyciągań i odpychań“.

Faraday wykazuje, że te założenia, zresztą bardzo mgliste i pełne sprzeczności, nie dają się pogodzić z faktami doświadczalnymi. Doświadczenia bowiem, wykonane przez Faradaya, ustalały z całkowitą pewnością, że „...suma chemicznego rozkładu jest stała dla każdego prze-

kroju jednorodnego przewodnika podlegającego rozkładowi bez względu na to, w jakiej odległości wzajemnej lub też od danego przekroju znajdują się bieguny, jak również od tego, w jaki sposób dany przekrój przecina prądy, czy prostopadłe czy ukośnie . . . byleby tylko prąd elektryczny był stały i przekrój obejmował wszystkie części prądu, przechodzącego przez podlegający rozkładowi przewodnik“. Co więcej, na podstawie tych doświadczeń Faraday dochodzi do wniosku, który jest jakby pierwszym szkicem, pierwszą próbą praw, jakie w późniejszych swych pracach ustali: „505. Mam podstawę do mniemania, że twierdzenie to można bardziej uogólnić i wyrazić w sposób następujący. Przy stałej ilości elektryczności wynik działań elektrochemicznych jest dla każdego, podlegającego rozkładowi przewodnika, wielkością stałą, tzn. równoważną normalnemu skutkowi, wynikającemu ze zwykłego powinowactwa chemicznego“.

Przeciwstawiając się stanowczo ówczesnym poglądom, powstrzymywał się jednak Faraday od wyraźnego wypowiedzenia swych własnych zapatrywań. Miały one jeszcze przejść przez ogniową próbę rozlicznych doświadczeń, musiał jeszcze być uporządkowany i pogłębiony cały bogaty zbiór faktów. Tym razem w pracy o „rozkładzie elektrochemicznym“, ogłoszonej również w 1833 r. i stanowiącej piątą serię „badań doświadczalnych“, poprzestaje na zaznaczeniu, że o ile „...sądzi się na podstawie faktów, to nie ma

najmniejszych podstaw do uważania istoty tego, co... nazywamy prądem elektrycznym za coś złożonego... Najlepiej uważać go za oś siły, która wywiera w przeciwnych kierunkach dokładnie równe, lecz przeciwnie skierowane działania“. Dopiero w siódmej serii, ogłoszonej w 1834 r. pod tym samym, co piąta ¹⁾, tytułem, daje Faraday zespół swych zapatrywań i formuluje słynne swe prawa.

„661. Teoria, którą uważam za istotny wyraz faktów rozkładu elektrochemicznego — tak zaczyna słynną swą rozprawę Faraday — stoi w takiej sprzeczności z dotychczasowymi teoriami, że miałbym olbrzymie trudności w prawidłowym wyrażeniu swych poglądów, gdybym poprzestał na posilkowaniu się sztucznymi wyrażeniami, używanymi w pewnym, od dawna przyjętym znaczeniu. Tego rodzaju jest nazwa biegun, z dodatkowymi słowami dodatni i ujemny oraz ze związanymi z nimi pojęciami odpychania i przyciągania. Zazwyczaj mówi się: biegun dodatni przyciąga tlen, kwas itd. lub ostrożniej — warunkuje ich wywiązywanie się na swej powierzchni i ujemny biegun działa w podobny sposób na wodór, ciała palne, metale i zasady. Według mego poglądu siła warunkująca nie leży na biegunach, lecz w ciele, podlegającym rozkładowi... 662. Dla uniknięcia bałamuctw i kołowań, jak również dla osiągnięcia

¹⁾ Seria szósta zawiera badania wyłącznie chemiczne, związane ze zjawiskami elektrolizy.

większej dokładności wyrażen, niż to dotychczas było możliwe, omówiłem tę sprawę należycie z dwoma przyjaciółmi i z ich zgodą utworzyłem nowe wyrazy, których doradzam używać w przyszłości i które chcę określić. Bieguny, jak się je zazwyczaj nazywa, są jedynie drogami, przez które wchodzi i wychodzi elektryczność z ciała, mającego podlec rozkładowi, są więc, gdy znajdują się w zetknięciu z tym ciałem, granicami jego rozciągłości w kierunku prądu... Zamiast nazwy biegun proponuję elektrodę (elektron nodós — droga) i rozumiem przez nią to ciało, a raczej powierzchnię, utworzoną czy to przez powietrze, czy przez wodę, czy przez metal, czy wreszcie przez jakiegokolwiek inne ciało, graniczące w kierunku rozchodzenia się prądu z ciałem, mającym podlec rozkładowi.

663. Powierzchnię, przez które, według zwykłej terminologii, prąd elektryczny wchodzi lub wychodzi z rozkładanego ciała, są najważniejszymi miejscami działania i zasługują na odróżnianie zarówno od biegunów, z którymi często są w zetknięciu, jak i od elektrod, z którymi stykają się zawsze. Szukając nazwy... przypuszczałem, że znajdę ją w ziemi. Jeżeli magnetyzm ziemski zależy od prądów elektrycznych, które okrążają ziemię, to muszą one mieć stały kierunek, który powinien iść, według współczesnego sposobu mówienia, ze wschodu na zachód, lub lepiej, gdyż łatwiej można to zapamiętać, zgodnie z pozornym ruchem słońca... Wobec tego nazwijmy: wschodnią powierzchnię

anodą (aná — w górę, hodós — droga; droga wschodzącego słońca) i zachodnią — katodą (katá — na dół i hodós; droga zachodzącego słońca)... Anoda jest więc powierzchnią, przez którą, zgodnie z naszą obecną terminologią, prąd elektryczny wchodzi... katoda jest powierzchnią, przez którą prąd opuszcza ciało, mające podlec rozkładowi...

664. ...Wiele ciał rozkłada bezpośrednio prąd elektryczny i uwalnia ich pierwiastki, te ciała nazywam elektrolitami (od élektron i liio — rozwiązują). Woda jest więc elektrolitem...

665. Wreszcie potrzeba mi nazwy, aby oznaczyć te ciała, które mogą iść do elektrod lub, jak się zazwyczaj mówi, do biegunów. Często nazywa się te substancje elektroujemnymi lub elektrododatnimi, według tego, czy pod przypuszczalnym działaniem bezpośredniego przyciągania idą do dodatniego lub ujemnego bieguna. Same przez się te wyrazy są bez znaczenia, o ile chodzi o użytek, jaki muszę z nich robić; lecz jakkolwiek te poglądy mogą być słuszne, są one jedynie hipotetyczne i mogą równie dobrze być fałszywe; i wtedy wyrządzają one wskutek niedostrzegalnego, lecz o ile działa ciągle, bardzo niebezpiecznego wpływu dużą szkodę nauce, ponieważ ci, którzy zajęci są jej postępami, zacieśniają się i ograniczają do zwyczajowych poglądów. Dla odróżnienia tych ciał nazywam te, które idą do anody, ciała, mające podlec rozkładowi, anionami (anion — idący w górę) i te, które idą do katody, kationami (od

kation — idący w dół), a gdy będę miał sposobność mówienia o nich obydwóch, będę je nazywał jonami...

666. Mam nadzieję, że określenie tych wyrażań.. ustrzeże od wielu niedokładności i dwuznaczności...“.

Te nadzieje Faradaya całkowicie się spełniły, albowiem wszystkie wprowadzone przez niego terminy do dziś dnia bez żadnej zmiany zachował język naukowy. Ale to wprowadzenie pewnego ładu do chaotycznej terminologii ówczesnej dawało, rzecz prosta, jedynie dogodne narzędzie do ścisłego wyrażania myśli i nic więcej: „nazwa bowiem i nauka są to rzeczy zupełnie różne“. Toteż Faraday przechodzi zaraz do rzeczy ważniejszych, do ustalania tych faktów, o których pisze na początku.

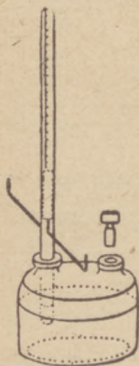
Przypomina, że już w serii trzeciej swych badań stwierdził, o czym wyżej była mowa, „704... że chemiczne działanie prądu jest stałe dla stałej ilości elektryczności, niezależnie od wszelkich różnic w jej pochodzeniu, natężeniu¹⁾, wielkości użytych elektrod...“.

Prawo powyższe, które uzasadnione było wtedy kilku zaledwie i to niezbyt przekonującymi doświadczeniami opiera obecnie Faraday na mocnej podstawie doświadczalnej, a to dzięki przyrządowi, który do naszych czasów pod nieco zmienioną nazwą woltametry pozostał w użyciu laboratoryjnym, jako jeden z najdo-

¹⁾ chodzi tu raczej o napięcie.

kładniejszych przyrządów, służących do mierzenia ilości elektryczności.

„705. Postarałem się na tej zasadzie¹⁾ zbudować przyrząd, który by mierzył ilości elektryczności, jaka przez niego przeszła, i który by włączony w drogę prądu, używanego w poszczególnym doświadczeniu, mógł służyć jako wzorzec działania albo jako istotny przyrząd, mierzący ten subtelny czynnik. 706. Żadne ciało nie nadaje się (do tego celu)... lepiej od wody²⁾.



Rys. 16.
Według
Faradaya.

Jedną z postaci, w jakiej używał Faraday tego przyrządu, wyobraża rys. 16. Obydwie elektrody umieszczone są w jednej i tej samej rurze. „709 ...Powstający³⁾ rozkład zachodzi o wiele szybciej, niż przy oddzielnych rurach⁴⁾... Uwięziony gaz jest sumą części wywiązanych na obu elektrodach i przyrząd w tej postaci nadaje się lepiej, niż w innych, do mierzenia... przechodzącej ilości elektryczności voltaicznej. Składa się on z prostej, od góry zamkniętej, skali-browanej rury, do której z boków wchodzi wtopione druty platynowe,

- 1) sformułowanej w ustępie 704.
- 2) Dzisiaj zazwyczaj używa się wodnego roztworu azotanu srebra.
- 3) przy przechodzeniu prądu.
- 4) w których zbierałby się oddzielnie wodór, oddzielnie tlen.

dźwigające dwie platynowe płytki. Gdy przez przyrząd przechodzi prąd, powstające gazy zbierają się w górnej części rurki“.

Na tym właśnie przyrządzie Faraday sprawdził, że istotnie „...zmiana wielkości elektrod nie powoduje żadnej zmiany w działaniu chemicznym, wywieranym na wodę przez daną ilość elektryczności“ oraz, że w zjawisku elektrolizy zasadniczą rolę odgrywa nie natężenie prądu, lecz ilość elektryczności. To ostatnie twierdzenie udowodnił Faraday przy pomocy następującego doświadczenia. Trzy woltometry wodne tak były ze sobą połączone, że „prąd elektryczny po przejściu przez jeden z nich musiał się dzielić na dwie części, które potem, gdy każda z nich przeszła przez jeden z dwu pozostałych przyrządów, znów się łączyły. Suma rozkładu w dwu ostatnich naczyniach była zawsze równa rozkładowi w naczyniu pierwszym. Żadna z tych części prądu nie mogła być co do natężenia równa początkowemu prądowi, zmiana przeto natężenia nie wywierała żadnego wpływu na wyniki, gdy tylko pozostawała bez zmiany ilość elektryczności“. Okazało się poza tym, że również zmiana składu roztworu nie zmienia stałości elektrolitycznego działania na wodę. W ten sposób Faraday udowodnił „...bardzo niezwykle i ważne twierdzenie, że gdy wodę poddaje się działaniu prądu elektrycznego, ilość rozłożonej wody jest dokładnie proporcjonalna do tej ilości elektryczności, jaka przez nią przeszła, mimo tysiączne różnice wa-

runków i okoliczności, w jakich się znajduje. W dodatku, o ile się zapobiegnie zakłóceniom, pochodzącym z pewnych wtórnych działań, jak również z rozpuszczania się i ponownego łączenia gazów oraz z uwalniania się ich z powietrza, można uwięzić produkty rozkładu z taką dokładnością, że dają one doskonałą i cenną miarę elektryczności, warunkującej ich wywiązanie“.

Przy pomocy swego woltametri mógł Faraday zbadać i inne elektrolity i sprawdzić, czy we wszystkich przypadkach obowiązuje prawo stałego stosunku między ilością elektryczności, która przepływa przez dany elektrolit, a masą produktów rozkładu. Badania te, poprzedzone rozpatrzeniem przypadków, w których zachodzą tzw. wtórne reakcje między początkowo wywiązanymi na elektrodach jonami i elektrolitem, doprowadziły go do ujęcia przebiegu elektrolizy w 11 tez.

Nie wszystkie z nich możemy przyjąć bez zastrzeżeń, a to głównie dlatego, że to, co dziś nazywamy jodem, różni się nieco od jonu Faradaya. Według jego poglądów elektrolitami są tylko ciała, mogące rozpadać się na części, z których każdą tworzy pojedynczy atom. Stąd pojęcie równoważnika chemicznego, tzn. tych mas jonów, które mogą się wzajemnie zastępować w związkach chemicznych, było dla Faradaya równoznaczne z pojęciem ciężarów atomowych. Stąd też zjawisko takie, jak wzrastanie przewodnictwa wody przy dolewaniu do niej kwasu siarkowego, objaśniał Faraday tym, że

kwasi ułatwia powstawanie jonów, składających drobinę wody¹⁾, a więc jonu wodoru i jonu tlenu i w ten sposób zmniejszał opór wody. Dziś rozumujemy wręcz odwrotnie: kwas siarkowy po rozcieńczeniu się w wodzie jonizuje się, tzn. każda drobina jego rozpada się na kation wodoru i anion — tzw. resztę kwasową — SO_4 . Wywiązanie się w ostatecznym wyniku tlenu jest skutkiem wtórnych reakcji chemicznych. Jon przeto, według dzisiejszych zapatrywań, może składać się z wielu atomów.

Zasadniczą jednak treść też Faradaya i dziś jeszcze możemy uważać za całkowicie uzasadnioną i dotychczas przez żadne doświadczenie nie obaloną. Oto niektóre tezy.

„827. II. Gdy jon jest w należytych stosunkach połączony z innym, bardzo mu pod względem chemicznym przeciwnym, tzn. gdy anion połączony jest z kationem, to obydwa będą wędrowały; jeden do anody, drugi do katody ciała, podlegającego rozkładowi.

828. III. Gdy więc jeden jon idzie do jednej z elektrod, musi jednocześnie drugi jon iść do drugiej elektrody, jakkolwiek może się na niej w skutku działań wtórnych nie ujawnić.

829. IV. Ciało, które prąd może bezpośrednio rozłożyć, tzn. elektrolit musi się składać z dwu jonów i one przeto wydzielają się przy rozkładzie...

¹⁾ Według ówczesnych zapatrywań drobina ta składała się z jednego atomu wodoru i jednego atomu tlenu.

...835. X. Elektrochemiczne równoważniki¹⁾ są zawsze zgodne, tzn. ta sama liczba, która wyraża równoważnik ciała A, gdy oddziela się ono od ciała B, wyraża go również, gdy oddziela się od C...

836. XI. Równoważniki elektrochemiczne są równe zwykłemu chemicznemu“.

Prawo „stałego chemicznego działania“, którego powyższe tezy są jedynie rozwinięciem, istnienie zwykłego związku między ilością przepływającą przez elektrolit elektryczności i masą produktów rozkładu nasunęło Faradajowi myśl, że musi istnieć „bezwzględna ilość elektryczności, która przyłączona jest do cząstek lub atomów materii“. Tę hipotezę rozpatruje Faraday w końcowym ustępie serii siódmej, zaopatrując ją w tytuł, przytoczony wyżej w cudzysłowie.

„852. Teoria stałego elektrolitycznego lub elektrochemicznego działania jest, jak mi się zdaje, w bezpośrednim związku z zagadnieniem bezwzględnej ilości elektryczności lub siły elektrycznej, przypadającej na różne ciała. Być może, jest rzeczą niemożliwą mówić o tym bez przekraczania obecnego zakresu faktów, lecz również jest rzeczą niemożliwą, a może nawet niewłaściwą, tego tematu nie poruszyć. Co prawda, nic nie wiemy o tym, czym jest atom, lecz możemy... sobie wyobrazić małą

¹⁾ tzn., jak to w innym miejscu wyjaśnia Faraday, ilości względne wywiązanych jonów.

cząstkę, która będzie dawała nam o nim pojęcie; i jakkolwiek znajdujemy się w równie wielkiej, jeżeli nie większej, nieświadomości co do elektryczności, tak że nie wiemy, czy jest ona szczególną materią, czy składa się z wielu materij, czy jest ruchem po prostu zwykłej materii, czy trzecim rodzajem siły lub czynnika¹⁾, to jednak istnieje niezmierna ilość faktów, które nas uprawniają do przypuszczenia, że atomy są obdarzone elektryczną siłą lub też, że siła ta im towarzyszy i że jej zawdzięczają one swe najglówniejsze własności...“.

Nie poprzestając na tych ogólnych uwagach, próbuje Faraday obliczyć nabój elektryczny, związany z daną ilością materii.

„853. Jest wprost zadziwiającą rzeczą; jak mała jest ilość ciała złożonego, które może być rozłożone przez oznaczoną ilość elektryczności.

Rozpatrzmy np.... wodę. 1 gran²⁾ wody, zakwaszonej dla polepszenia przewodnictwa, do swego rozłożenia wymaga prądu elektrycznego, trwającego 3,75 min.; prąd ten musi być dostatecznie silny, aby móc drut platynowy o grubości $\frac{1}{10}$ cala, pozostający w zetknięciu z powietrzem, utrzymać przez cały ten czas w stanie rozżarzenia do czerwoności“.

Dużo dalej w tych badaniach Faraday posunąć się nie mógł, nie rozporządzając podów-

1) dwoma pozostałymi czynnikami byłyby ciepło i światło.

2) około 65 mgr.

czas żadną ściśle określoną jednostką natężenia prądu. Wskazał jedynie drogę, po której iść należało, aby po długich i mozolnych badaniach potwierdzić istnienie naboju, związanego z jonem, i znaleźć jego bezwzględną miarę — nabój elementarny.

Ale z tego „tak ścisłego związku między przewodnictwem elektrycznym i rozkładem wody“ wynikają jeszcze inne wnioski. „854. Gdy woda ulegnie niewielkiej jedynie zmianie, takiej, jaka zachodzi między jej stanem stałym i ciekłym, przewodnictwo zanika i z nim również rozkład. Można przewodnictwo uważać za niezależne od rozkładu lub też nie, w każdym jednak razie związek pomiędzy obu funkcjami jest ścisły i nierozzerwalny.

855. Gdy się zważy ten ścisły i podwójny związek, a mianowicie, że bez rozkładu nie zachodzi żadne przewodzenie elektryczności i że przy danej oznaczonej ilości przepływającej elektryczności podlega rozkładowi również oznaczona i stała ilość wody lub innej substancji; gdy się zważy dalej, że czynnik elektryczność jest po prostu po to stosowany, aby przewzciężyć siły elektryczne, zawarte w ciałach, poddanych jego działaniu, to wydaje się naturalnym i prawdopodobnym wnioskiem, że przewodzona elektryczność jest równoważnikiem elektryczności rozdzielonych części, a więc jest jej równa...”

Po raz pierwszy został tak wyraźnie nakreślony obraz przewodnictwa elektrolitycznego:

prąd, przepływający przez elektrolit, nie jest w istocie niczym innym, jak ruchem jonów, poruszających się ku dwu przeciwnym elektrodom. Suma nabożów dodatnich, związanych z kationami, i nabożów ujemnych, przenoszonych na anionach, która w przeciągu 1 sekundy przechodzi przez przekrój elektrolitu, jest miarą natężenia prądu, ten zaś ruch elektryczności istotnym jego obrazem.

Faraday obrazu tego nie wykończył, w serii ósmej nawet się go wyrzekł częściowo. Wprowadziły go w błąd te przypadki, w których bardzo słaby prąd, przechodząc przez elektrolit, nie powoduje jego rozkładu. Rozróżniając dwa rodzaje przewodnictwa prądu elektrycznego: „...ten, który wykazują w tak charakterystyczny sposób metale, i ten, któremu towarzyszy rozkład“, Faraday zakłada, że elektrolity posiadają, jakkolwiek w słabym bardzo stopniu, przewodnictwo „metaliczne“. Sprzeczność między tym założeniem i swym własnym prawem stałego działania elektrochemicznego próbuje Faraday usunąć w sposób, który w ostatecznej konkluzji prowadzi do wniosku, że prawo to jest jedynie przybliżone.

„1032. Ponieważ woda i inne elektrolity mogą przewodzić elektryczność bez podlegania rozkładowi, o ile natężenie elektryczności¹⁾ jest dostatecznie małe, jest rzeczą jasną, że nie we wszystkich przypadkach można z całkowitą

1) powinno być „natężenie prądu“.

słusznością powiedzieć, że elektryczność przy przechodzeniu swoim przez elektrolit zawsze powoduje stałe zjawisko rozkładu. Ilość elektryczności jednak, która w przeciągu danego czasu może przechodzić przez elektrolit bez wywoływania rozkładu, jest tak mała, że nie wytrzymuje żadnego porównania z tą jej ilością, która wystarcza do spowodowania miernego rozkładu. W przypadku zaś elektryczności o natężeniu większym, niż to, które wystarcza do rozłożenia, nie zauważyłem dotychczas żadnego widocznego odchylenia od prawa stałego działania elektrochemicznego, uzasadnionego w siódmej serii tych badań“.

Prawo to jednak okazało się ściślejsze, niż to przypuszczał sam jego twórca. Już w 1856 r. de la Rive ustalił, że przy zachowaniu odpowiednich ostrożności można nawet w przypadku najslabszych prądów zauważyć wydzielanie się na elektrodach pęcherzyków gazowych. Doświadczenia de la Rive'a zostały potwierdzone przez Buffa, który stwierdził wywołanie rozkładu zakwaszonej wody przez prąd o tak małym natężeniu, że przepływ jego wywiązałyby w ciągu roku zaledwie 3,27 cm³ gazu piorunującego. Źródło błędu we wnioskowaniu Faradaya wskazał Helmholtz: niewielkie ilości wydzielonego gazu dyfundują do drugiej elektrody i tam, łącząc się z innymi produktami rozkładu, uchodzą spod obserwacji.

Znaczną część serii ósmej stanowi omówienie zagadnienia, któremu Faraday poświęcił już

ostatnie ustępy serii siódmej, a mianowicie zjawisk zachodzących w ogniwie. Faraday od razu zaznacza zgodność swoich zapatrywań z poglądami Davy'ego „że przynajmniej ten prąd jest podtrzymywany przez działanie chemiczne i że to wszystko, co ten prąd stanowi, pochodzi prawie całkowicie z tego działania“. „Ciała bowiem, które umieszczamy między metalowymi płytkami stosu i które sprawiają, że stos ten działa, są wszystkie elektrolitami. Nie mogę nie podkreślić z naciskiem, ...że w tych (tak istotnych dla stosu) ciałach, rozkład i przewodzenie prądu są tak ściśle ze sobą związane, że jedno zjawisko nie zachodzi bez drugiego... Gdy przeto połączymy końce ogniwa z ciałem, które jak np. woda może podlegać rozkładowi, mamy stały prąd, przechodzący przez to ogniwo; podczas gdy znajduje się ono w tym stanie możemy tę część¹⁾, w której kwas wyżera płyty, i tę, gdzie prąd działa na wodę, uważać za odpowiadające sobie części. W obu mamy dwa zjawiska, nie dające się w takich, jak te, ciałach rozdzielić, a mianowicie przechodzenie prądu i rozkład... 859. Różnica między dwoma częściami zamkniętej baterii, a mianowicie między komorą doświadczalną, w której zachodzi rozkład, i komorą, która wzbudza prąd, jest po prostu taka. Przez pierwszą przepuszczamy prąd, któremu, jak się zdaje, z konieczności towarzyszy rozkład, w drugiej przy pomocy zwykłych działań che-

1) obwodu.

micznych (które wszelako są, ze swej strony, elektryczne) wywołujemy rozkład, w następstwie czego otrzymujemy prąd elektryczny. I podobnie, jak w pierwszej komorze zachodzi pod wpływem prądu oznaczony rozkład, w drugiej płynie również oznaczony prąd, towarzyszący temu rozkładowi“.

To na ogół trafne ujęcie zjawisk, zachodzących przy powstawaniu prądu elektrycznego, było, oczywiście, w zupełnej niezgodzie z teorią zetknięcia. Źródłem siły elektrobodźczej ogniwa są, według Faradaya, wyłącznie reakcje chemiczne, zachodzące w ogniwie. Obronie tego poglądu poświęcił Faraday trzy serie (dziesiątą, szesnastą i siedemnastą) swych „badań doświadczalnych“, zawierające szereg ważnych twierdzeń elektrochemicznych.

Jedno zwłaszcza z doświadczeń, mających służyć za dowód słuszności założeń Faradaya, bardzo ważne dało wyniki. Gdy do elektrolizy użyjemy ogniwa, składającego się z płytek miedzianej i cynkowej, zanurzonych w rozcieńczonym kwasie siarkowym, wielu ciał, niewątpliwych elektrolitów, jak np. rozcieńczonego kwasu siarkowego, nie będzie można rozłożyć. Wystarczy jednak dodać do cieczy w ogniwie nieco kwasu azotowego, aby wywołać natychmiastowy rozkład opornych poprzednio ciał. Faraday, całkowicie słusznie, wiąże to ze wzmocnieniem, „chemicznego działania“ w ogniwie i wzrostem napięcia na jego biegunach. „908... Aby wykazać, że działanie rozkładające nie za-

leży, w tym ostatnim przypadku, od zdolności wywiązywania większej ilości elektryczności¹⁾, były wykonane doświadczenia, w których zwiększano ilość wywiązanej elektryczności bez zmieniania natężenia wzbudzającej przyczyny²⁾. Powtórzono mianowicie doświadczenia, w których użyto rozcieńczonego kwasu siarkowego... ale stosując większe płyty cynkowe i platynowe³⁾, mimo to jednak ciała, które uprzednio oparły się rozkładowi, uczyniły to i teraz. Wtedy wziąłem kwas azotowy i siarkowy⁴⁾ i zanurzyłem w nim druty platynowe i cynkowe; otóż mimo tej zmiany⁵⁾ zostały rozłożone ciała, które oparły się prądowi, wzbudzonemu przez rozcieńczony kwas siarkowy... To zwiększenie natężenia prądu⁶⁾ elektrycznego... należy przypisać własnościom i sile chemicznego powinowactwa“.

Ważne to odkrycie potwierdzało pozornie założenie pierwotnej teorii elektrolizy, według której rozpad elektrolitu na jony zachodził dopiero pod działaniem pola elektrycznego, wytworzonego przez zanurzenie w elektrolicie dwu

1) raczej „natężenia prądu“.

2) tzn. „napięcia ogniwa“.

3) W ten sposób został zmniejszony opór wewnętrzny ogniwa i zwiększone natężenie prądu (ogniwa).

4) Należy przez to rozumieć mieszaninę tych dwu kwasów.

5) zwiększenia oporu przez zmniejszenie przekroju elektrod.

6) powinno być „napięcia“.

elektrod, połączonych z dwoma różnymi biegunami ogniwa, a więc posiadających różnicę napięć. Z doświadczenia bowiem Faradaya wynikało, że w zależności od rodzaju elektrolitu potrzebne jest niejednakowe natężenie pola, innymi słowy, niejednakowa siła, działająca na naboje jonów, aby wywołać oderwanie anionu od kationu. Dopóki siła ta nie osiągnie wymaganej dla danego ciała wartości, rozkład zachodzić nie może. Takie objaśnienie zjawiska przyjmował, jak się zdaje, Faraday; nie jest ono jednak bynajmniej logiczną koniecznością i dziś doświadczenie Faradaya objaśniamy zupełnie inaczej. Źródło tego zjawiska widzimy nie w elektrolicie, lecz w tych kationach i anionach, które prąd, płynący w pierwszej chwili po zamknięciu obwodu, skupi przy elektrodach. Zakładając, jak to czynimy obecnie, że w elektrolicie znajdują się swobodne jony, przyjmujemy, zgodnie z wyjaśnieniem, jakie dali Ostwald i Nernst w 1889 r., że „przejście elektryczności z jonów na elektrody wymaga na ogół... oznaczonego napięcia. Dopóki nie jest ono osiągnięte, układ, utworzony przez elektrolit i elektrodę, zachowuje się, jak kondensator, na powierzchni bowiem zetknięcia powstaje zgrupowanie jednako naelektryzowanych jonów, które wiążą przeciwnego znaku elektryczność na elektrodzie... Jak wiadomo, najmniejsza nawet siła elektroboźca warunkuje przepływanie prądu w układzie złożonym, prąd ten jednak trwa tylko

dopóty, dopóki nie naelektryzuje się kondensator...“.

Faraday tę stronę swego doświadczenia całkowicie pominął milczeniem; dla niego ważną było rzeczą stwierdzenie, że w zależności od wzrostu reakcyj chemicznych w ogniwie zwiększa się jego napięcie i, co za tym idzie, zdolność rozkładania innych ciał. Ustaliwszy ten fakt, Faraday czuł się uprawniony do stwierdzenia; że „prąd elektryczny jest inną tylko postacią sił powinowactwa chemicznego i że jego siła jest proporcjonalna do wytwarzającego się powinowactwa chemicznego“. To twierdzenie, tak ogólne, w którym nie wiadomo co Faraday rozumie przez siłę prądu: natężenie jego czy napięcie, grzeszy niewątpliwie daleko posuniętą jednostronnością, zrozumiałą zresztą u badacza, przed którym nagle otwierają się nowe zupełnie widnokreśli.

Że nie zachodzi taki prosty związek między reakcją chemiczną w ogniwie i powstawaniem prądu elektrycznego, tego dowiódł już w swoim czasie Volta słynnym doświadczeniem, ogłoszonym w 1802 r. i od tego czasu będącym głównym argumentem przeciwników tzw. teorii chemicznej. Volta wykazał przy pomocy elektroskopu, że napięcia na biegunach dwu stosów, z których w jednym krążki, oddzielające płytki metalowe, były nasycone czystą wodą, w drugim zaś wodą słoną, były jednakowe; stosy te różniły się jedynie natężeniem prądu, jaki można było z nich otrzymać: stos drugi przy dot-

knięciu jego biegunów wilgotnymi rękami dawał wstrząśnienie większe.

Badawczy umysł Faradaya nie pozwalał mu, rzecz prosta, faktów tych zapoznawać. Toteż już w serii dziesiątej, ogłoszonej w 1835 r. i poświęconej „ulepszonej postaci baterii voltaicznej“, cofa swe zbyt pośpieszne uogólnienie. „1120. W zwykłym ogniwie voltaicznym rozpadają się siły chemiczne, wzbudzone przez przyrząd podczas jego działania, na ogół na dwie części. Pierwsza ujawnia się na miejscu¹⁾, druga jest przeprowadzona przez obwód, ta ostatnia wytwarza prąd elektryczny, pierwsza całkiem przepada lub jest zniweczona“. Jeszcze wyrażniej tę samą myśl wypowiada w serii 17: „często chemiczne działanie zachodzi bez wytwarzania prądu i jest rzeczą dobrze znaną, że w każdym prawie ogniwie Volty musimy uważać siłę chemiczną za rozpadającą się na miejscową i tę drugą, która jest prądem“. Bliższego określenia warunków, jakim odpowiada jeden i drugi rodzaj reakcji, Faraday, rzecz prosta, dać nie mógł. Dziś jeszcze, po tylu latach, po pracy tylu wielkich uczonych nie możemy powiedzieć, aby zjawisko to było dla nas we wszystkich szczegółach jasne i zrozumiałe.

Dlatego też, mimo całej wagi i pomysłowości doświadczeń, które miały Faradayowi służyć za dowód przeciwko teorii zetknięcia, większe od nich pod tym względem znaczenie posiada

¹⁾ w ogniwie.

końcowy ustęp przytaczanej już wyżej serii siedemnastej, w którym Faraday jest zadziwiająco bliski zasady zachowania energii.

„2071. W rzeczywistości teoria zetknięcia zakłada, że siła¹⁾, która jest w stanie przewyciężyć potężne opory, jak np. opór dobrych lub złych przewodników, przez które przepływa prąd, jak również opór działań elektrycznych, gdzie ciała są przez nią rozkładane, może powstać z niczego; że może bez zmiany działającej materii lub użycia wzbudzającej siły powstać prąd, który płynie nieprzerwanie przeciwko stałemu oporowi... Byłoby to istotnie stwarzaniem siły¹⁾. Znamy wiele zjawisk, w których postać siły¹⁾ może ulec takiej zmianie, że zachodzi pozorne przeobrażenie jednej w drugą. Możemy np. zamienić siłę¹⁾ chemiczną w prąd elektryczny i prąd w siłę¹⁾ elektryczną. Piękne doświadczenia Seebecka i Peltiera²⁾ wykazują przeobrażenia się ciepła i elektryczności, inne doświadczenia — Oersteda i moje — wykazują przekształcenia elektryczności i magnetyzmu. Lecz nigdy... nie zachodzi stwarzanie siły¹⁾, wzbudzanie

1) dziś powiedzielibyśmy: „energia“.

2) Seebeck odkrył w 1821 roku, że w obwodzie utworzonym z dwu różnych spojonych metali, ogrzewanie jednego ze spojeń powoduje przepływanie prądu elektrycznego. Peltier w 1834 r. wykazał, że gdy przez obwód taki przechodzić będzie prąd elektryczny, wzbudzony przez zewnętrzne źródło, miejsca spójnienia będą się nagrzewały lub oziębiały w zależności od kierunku prądu i kolejności, w jakiej są spójnione metale.

siły bez odpowiedniego zużycia czegoś, co służy jej pożywieniem. 2073... Gdyby teoria zetknięcia była słuszna, należałoby, według mnie, zaprzeczyć równości przyczyny i skutku. Wtedy byłoby możliwe również perpetuum mobile i nie byłoby rzeczą trudną w pierwszym lepszym przypadku prądu, wzbudzonego jedynie przez zetknięcie, zbudować przyrząd elektromagnetyczny, który by... nieprzerwanie wytwarzał działania mechaniczne“.

Tym argumentem, który w przyszłości miał się okazać decydujący, kończy Faraday prace swe, poświęcone badaniom elektrochemicznym. Do postawienia zasady zachowania energii nie doszedł; można nawet nie bez prawnej podstawy twierdzić, na tej drodze dojść nie mógł. Sformułowanie jej bowiem wymagało wyraźnego określenia miary pracy i energii, co, w zastosowaniu do zjawisk elektrycznych, sprowadzało się do wyodrębnienia pojęć napięcia i natężenia prądu. Tych zaś dwu pojęć Faraday, jak o tym już była mowa, często nie rozróżniał.

Najlepszą bodaj ocenę swych prac elektrochemicznych, na ogół dalekich od przejrystości, cechującej inne jego prace, a czasem nie pozabawionych nawet pewnych sprzeczności, dał sam Faraday.

„871... Nie twierdzą, abym w tym przedstawieniu prawa o oznaczonym działaniu elektryczności i odpowiednim jej stosunku w cząstkach ciał poddał wszystkie przypadki chemicznego lub elektrochemicznego działania pod jego

władzę. Jest... wiele rozważań natury teoretycznej, które dopiero z czasem mogą być rozwinięte, istnieje również wiele przypadków doświadczalnych, które wymagają bliższego zbadania... (Badania moje) posiadają mimo wielu rzeczy niedoskonałych i niewykonanych dostateczną wagę, aby usprawiedliwić ich ogłoszenie. W istocie, jest to wielkim przywilejem naszej nauki — chemii — że postępy jej, zarówno wielkie, jak małe, zamiast wyczerpywać przedmiot badania, raczej otwierają drzwi do nowych i bardziej ogólnych dziedzin badania“.

Niejedną taką dziedzinę badania odkrył Faraday, nic też dziwnego, że dokładne ich poznanie przerastało nawet jego siły; faktem jest jednak, że ten cykl prac Faradaya miał olbrzymie znaczenie w historii nauki: były one pierwszymi, które zwróciły uwagę na „harmonię“, jaką teoria stałego elektrolitycznego działania „wprowadza do pokrewnych teorii oznaczonych stosunków i elektrochemicznego powinowactwa“, twierdzenie zaś, że „elektryczność warunkuje liczbę równoważnikową, gdyż ona wyznacza siłę spójności“¹⁾, w przeszło osiemdziesiąt lat później znalazło świetne potwierdzenie w pracach Bohra, Langmuira, Kossela i w całej współczesnej nam teorii budowy atomów.

Znaczenie indukcji elektrostatycznej w zjawiskach elektrycznych. Z tego wielkiego znaczenia, jakie dla wszystkich dziedzin fizyki po-

¹⁾ międzyatomową.

siada badanie zjawisk elektrycznych, Faraday zdawał sobie doskonale sprawę.

„Żadna gałąź nauk przyrodniczych nie dostarcza piękniejszego i płodniejszego pola do odkryć... Chemia i nauka magnetyzmu uznały stopniowo jej przeważający wpływ i prawdopodobnie, w ostatecznym wyniku, podporządkuje się jej¹⁾ każde zjawisko, uwarunkowane siłami ciał nieorganicznych, a może nawet większość zjawisk związanych z życiem zwierząt i roślin“. Ze wszystkich zaś działań elektrycznych najważniejsze jest, według Faradaya, działanie indukcyjne, jakiego najprostszy przykład daje nam następujące proste doświadczenie. Gdy obok naelektryzowanego ciała umieścimy przewodnik, odosobniony od ziemi, to część najbardziej zbliżona do ciała naelektryzowanego, naelektryzuje się elektrycznością znaku odwrotnego, część zaś bardziej oddalona — elektrycznością tego samego znaku, co znak naboju ciała indukującego. To zjawisko, zaobserwowane po raz pierwszy w osiemnastym wieku przez fizyka angielskiego Cantona jest, według Faradaya, „związane z każdym zjawiskiem elektrycznym i ma w rzeczywistości charakter pierwszej, istotnej i podstawowej zasady“. Znajomość jego jest tak ważna, że „sądzę, bez jego gruntownego poznania nie będziemy mogli iść dalej w badaniach elektryczności“, toteż ono właśnie służy Faradayowi za punkt wyjścia niezwykle ważnych badań, stanowiących treść je-

¹⁾ elektryczności.

denastej, dwunastej, trzynastej i czternastej serii jego „prac doświadczalnych“.

Faraday stwierdza przede wszystkim, że charakteryzujące indukcję elektryczną występowanie jednoczesne dwu nabojów o znakach przeciwnych, w ilościach równoważnych, jest cechą wszystkich na ogół zjawisk elektrycznych. „1178... Wytwarzanie¹⁾ przez tarcie daje, jak wiadomo, obydwie siły²⁾ w równym stosunku. Podobnie dzieje się przy wzbudzaniu przez działania chemiczne, niezależnie od wielkiej różnorodności używanych ciał i niezmiernych ilości elektryczności, które mogą być na tej drodze wywiązywane. 1177. Na mocy doświadczeń można sądzić, że jest rzeczą niemożliwą wzbudzenie lub zniszczenie jednej siły elektrycznej bez jednoczesnego wzbudzenia lub niszczenia drugiej, o tej samej wielkości. Nabój pociąga zawsze za sobą indukcję, nie może on nigdy bez niej być urzeczywistniony“.

Ta zasada, którą moglibyśmy nazwać zasadą zachowania elektryczności, łączy się, według Faradaya, ściśle z samym, o ile się tak można wyrazić, mechanizmem elektryzacji. „1164. Gdy odkryłem ogólny fakt, że elektrolity, które w stanie ciekłym łatwo się rozkładają, w stanie stałym przeciwstawiają się całkowicie rozkładowi, sądziłem, że znalazłem drogę do wejścia

1) elektryczności.

2) tzn. siły, odpowiadające dwu różnoimiennym nabojom.

w indukcję i do możności ujęcia w jedno prawo wielu różnorodnych zjawisk. Założmy, że elektrolitem jest woda. Gdy na płytę lodową położymy z obu stron blachę platynową i połączymy te okładki ze stałym źródłem obydwu elektryczności, lód naelektryzuje się, jak butelka lejdej-ska. Będzie to zwykła indukcja, żaden jednak prąd nie będzie przechodził. Gdy lód stopimy, indukcja w pewnym stopniu się zmniejszy, gdyż zacznie przechodzić prąd: przechodzenie jego jednak jest zależne od szczególnego rozmiesz-czenia cząstek, zgodnego z przenoszeniem czę-ści składowych elektrolitu w dwóch przeciwnych kierunkach... W ten sposób całe zjawisko, za-chodzące w elektrolitach wydaje się być działa-niem cząstek, wprawionych w szczególny lub spolaryzowany¹⁾ stan“. Obraz ten przenosi Fa-raday na wszystkie w ogóle przewodniki i za-kłada, że „zwykła indukcja jest sama działa-niem przylegających cząstek i że działanie elek-tryczne na odległość²⁾ nigdy nie może inaczej się urzeczywistnić, jak przez pośredniczący wpływ substancji, znajdującej się pomiędzy da-nymi ciałami“.

W myśl powyższych założeń przebieg zjawi-ska byłby następujący. Gdy dane ciało jest elektryzowane przez połączenie np. z jednym z biegunów maszyny elektrostatycznej, w war-stwie powietrza lub innego nieprzewodnika

1) tzn. posiadających bieguny o przeciwnych własnościach.

2) tzn. zwykle działanie indukcyjne.

bezpośrednio sąsiadującego z powierzchnią ciała elektryzowanego powstają naboje indukowane; przy czym nabój tego samego znaku znajduje się nieco dalej od powierzchni danego ciała, niż nabój znaku przeciwnego, wobec czego na warstwę sąsiednią działać będzie głównie ten właśnie nabój i wywoła w niej powstanie nowych nabołów indukowanych. Działanie więc elektryczne rozchodzić się będzie stopniowo od warstwy do warstwy, sprowadzając się, według założeń Faradaya, do indukcji elektrostatycznej, zachodzącej w coraz to nowych warstwach dielektryku, jak nazwał Faraday ciała nie przewodzące. Częstki tego dielektryku, podlegając działaniu indukcyjnemu, nie będą się już znajdowały w stanie normalnym: „1679... mogą one być porównane z szeregiem małych igieł magnetycznych lub, jeszcze lepiej, z szeregiem małych odosobnionych przewodników. Gdybyśmy wypełnili przestrzeń dokoła naelektryzowanej kuli... dielektrykiem, jak terpentyna lub powietrze, i małymi kulistymi przewodnikami, jak śrut, w ten sposób, aby znajdowały się one w pewnej od siebie odległości i były izolowane, to byłyby one w swym stanie i działaniu podobne, jak przypuszczam, do stanu i działania izolującego dielektryka“.

Odrzucenie teorii działania na odległość. Założenie Faradaya było w niewątpliwej sprzeczności z panującą wówczas teorią działań elektrycznych.

Oparta o wielokroć sprawdzone i potwierdzone prawo Coulomba, wyrażające działanie wzajemne dwóch ciał naelektryzowanych wzorem bliźniaczo podobnym do wzoru, w jaki Newton ujął prawo powszechnego ciążenia, teoria ta zakładała zupełne podobieństwo obu zjawisk i wnioski, wyciągnięte z badań nad ciążeniem powszechnym, stosowała bez zastrzeżeń do wyjaśniania zjawisk elektrycznych. Z wniosków tych najważniejszy bodaj był ten, który wysnuł Laplace ze wspaniałych swych badań ruchu ciał niebieskich, że wzajemne działanie mas możemy uważać za natychmiastowe, to bowiem, co nazywamy ciążeniem powszechnym, rozchodzi się z prędkością większą co najmniej sto milionów razy od prędkości światła, a więc taką, której żadne pomiary, choćby najdokładniejsze, wykryć nie mogą. Różnicę, jaką w ten sposób Laplace ustalał pomiędzy ciążeniem powszechnym a innymi zjawiskami, np. świetlnymi, uwidocznic może następujący przykład. Załóżmy, że w pewnym momencie wzniecamy gdzieś w przestrzeni międzyplanetarnej światło; możemy być pewni, że obserwator, obdarzony dostatecznie wrażliwym wzrokiem i umieszczony w odległości 300.000 km od źródła światła, dostrzeże pierwszy błysk dopiero po upływie 1 sekundy od chwili, w której światło zostało wzniesione. Umieśćmy teraz w tym samym miejscu jakiegokolwiek ciało materialne, działanie przyciągające, które wywrze ono na obserwatora, znajdującego się w tej samej, co

poprzednio, odległości, ujawni się, o ile będziemy rozporządzali odpowiednio czułymi przyrządami, które pozwolą je wykryć, natychmiast, bez żadnego opóźnienia.

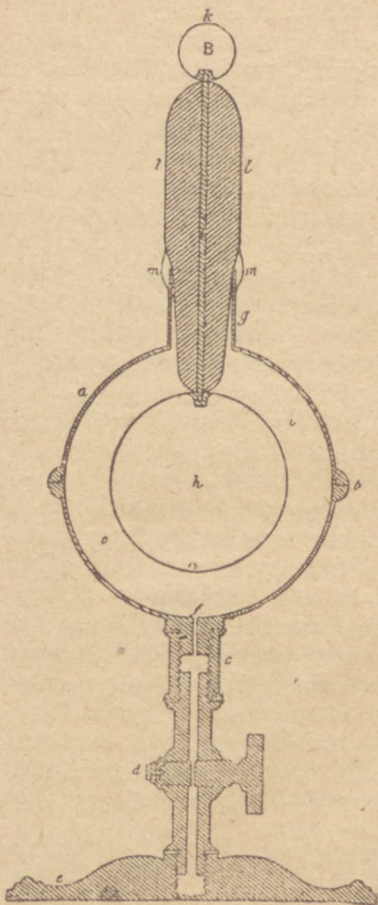
Pośrednim potwierdzeniem wywodów Laplace'a było niepowodzenie prób objaśnienia zjawisk powszechnego ciężenia działaniem środowiska, znajdującego się między przyciągającymi się wzajemnie ciałami; próby te, podjęte w początkach osiemnastego wieku przez jezuitę Boscovicha, a których najdoskonalszą postacią była ogłoszona w 1818 r. hipoteza Le-Sage'a, nie potrafiły wyjaśnić istoty prawa odkrytego przez Newtona. Podobnie nie zdołano nigdy stwierdzić, aby siła, z jaką przyciągają się dwie masy, zmieniała się w zależności od rodzaju środowiska, w którym masy te się znajdują. Z konieczności przeto musiała fizyka uznać, że ciała materialne przyciągają się z odległości, bez pośrednictwa jakiegokolwiek ośrodka, wypełniającego przestrzeń między nimi, i nie szukając dalszych wyjaśnień, poprzestać na powtórzeniu tych słów, nie pozbawionych pewnej rezygnacji, jakimi Newton zakończył swe rozważania: „Nie zdołałem dotychczas wyprowadzić ze zjawisk wytłumaczenia, dlaczego ciężenie ma takie własności. Dostyc jest wiedzieć, że ciężenie istnieje, że działa według wyłożonych tu praw i że tłumaczy wszystkie ruchy ciał niebieskich i morza“.

Otóż to pojęcie „działania na odległość“ fizyka ówczesna przeniosła, jak wyżej o tym by-

ła mowa, na działania, zachodzące między ciałami naelektryzowanymi. Przyjmowano, że podobnie, jak w ciężeniu, przyciąganie lub odpychanie elektryczne ujawnia się natychmiastowo i że siła, z jaką działają na siebie dwa naboje, nie zależy zupełnie od środowiska, w którym się te naboje znajdują. Piękna teoria matematyczna, która w końcu osiemnastego i na początku dziewiętnastego wieku została zbudowana wysiłkami wielkich matematyków Laplace'a, Gaussa, Poissona i innych, równie dobrze dotyczyła ciężenia powszechnego, jak i zjawisk elektrostatycznych. Wystarczało jedynie inną treść fizyczną nadać ogólnym symbolom matematycznym.

Tej tak ustalonej teorii, popartej autorytetem szanownych nazwisk, przeciwstawiły się krańcowo założenia Faradaya. „Mój szacunek dla Aepinusa, Cavendisha, Poissona i innych wybitnych ludzi — pisał Faraday w początkowych ustępach swej pracy „o indukcji“ — których teorii rozpatrują... indukcję, jako działanie na odległość i wzdłuż linii prostych, powstrzymywały mnie przez długi czas od wyżej przytoczonych poglądów“. Dopiero zrozumienie ogólnego znaczenia, jakie to zagadnienie posiada, skłoniło go do „rozszerzenia zakresu badań i ogłoszenia swych zapatrywań“.

Badanie wpływu środowiska na działania elektryczne. Pierwszym i najważniejszym dowodem, jakim Faraday mógł poprzeć swoje zało-



Rys. 17.
Według Faradaya.

żenia, było stwierdzenie wpływu, wywieranego przez środowisko na wzajemne działania dwóch naleyktryzowanych przewodników. Przyrząd, użyty w tym celu przez Faradaya, składał się z dwu współśrodkowych przewodników kulistych, umieszczonych jeden wewnątrz drugiego i tworzących układ, który dziś nazywamy kondensatorem kulistym. Kula wewnętrzna, umocowana była na drażku izolującym (II na rysunku), wewnątrz któ-

rego znajdował się drucik metalowy i, połączony z jednej strony z kulą wewnętrzną h, z drugiej zaś z niewielką kulką mosiężną B. Łącząc B z jakimkolwiek źródłem elektryczności można było elektryzować kulę wewnętrzną. Odpowiednie urządzenie pozwalało łączyć przyrząd z pompą pneumatyczną i dowolnie rozrzedzać powietrze między kulami. Faraday zbudował dwa takie przyrządy, dokładając wszelkich starań, aby wymiary ich były możliwie te same. Gdy w obu przyrządach pomiędzy kulami znajdowało się powietrze, własności elektryczne obydwu przyrządów były identyczne. Faraday stwierdził to w sposób następujący.

Przy pomocy butelki lejdejskiej elektryzował jeden z kondensatorów; następnie, po przerwaniu połączenia z butelką, dotykał kulki B małą kulką metalową, tzw. kulką probierczą. Kulka ta wtedy elektryzowała się do tego samego napięcia, co kondensator, i nabój, który otrzymywała, był do tego napięcia proporcjonalny¹⁾. Nabój ten Faraday mierzył przy pomocy przyrządu, zbudowanego jeszcze przez Coulomba, tzw. wagi skręceń. Zasadniczą część tej wagi stanowi drut (zastąpiony przez Faradaya nicią szklaną), na którym wisi poziomy drążek z materiału izolacyjnego; na końcu drążka znajduje się mała kulka metalowa. Gdy

¹⁾ Zakładamy tutaj, co wobec małych rozmiarów kulki probierczej w porównaniu z kondensatorem mamy prawo zrobić, że zetknięcie z kulką probierczą nie zmienia napięcia kondensatora.

kulkę tę naelektryzujemy i przybliżymy do niej inne ciało naelektryzowane, np. kulkę probierczą, wtedy siły przyciągania lub odpychania elektrycznego wytrąca drażek z położenia równowagi. Drażek odchyli się o kąt taki, przy którym siły sprężystości nici, skracającej się wskutek obrotu drażka, zrównoważą działanie sił elektrycznych. Im większe będą działały siły elektryczne, tym większy będzie kąt skrócenia. Chcąc doprowadzić drażek z powrotem do poprzedniego położenia, należy skrócić górną część nici w przeciwną stronę. Ten kąt skrócenia bierze Faraday za miarę działania sił elektrycznych, a co za tym idzie, naboju kulki probierczej i napięcia kondensatora. Wtedy bowiem, „nie tylko kulki¹⁾ znajdują się przy każdym pomiarze w jednakowej od siebie odległości, lecz również w jednakowym położeniu względem każdej części przyrządu, tak że unika się jakichkolwiek zakłóceń, wynikających z niewielkich różnic w kształcie i działaniu przyrządu oraz ciał otaczających“. Po zmierzeniu w ten sposób napięcia jednego z kondensatorów, który oznaczymy liczbą I, łączył go na chwilę Faraday z kondensatorem II, wskutek czego i ten kondensator się elektryzował. Zetknięcie kulki probierczej z kondensatorem II i zmierzenie jej naboju na wadze skróceń dawało miarę napięcia drugiego kondensatora i pozwalało

¹⁾ kulka, umieszczona na końcu drażka, i kulka probiercza.

wnioskować o zmniejszeniu się początkowego napięcia kondensatora I. W jednym np. z pomiarów Faradaya naelektryzowany był kondensator I. Zetknięcie z kulką probierczą natychmiast po naelektryzowaniu udzieliło kulce naboju, który wymagał skręcenia nitki w wadze Coulomba o 254° . Drugi pomiar, wykonany po pewnej chwili, dał skręcenie tylko 250° , co dowodziło, że kondensator nie posiadał doskonałej izolacji. Po połączeniu chwilowym kondensatorów zetknięcie kulki z kondensatorem II dało skręcenie 122° , ponowne zetknięcie z kondensatorem I wielkość prawie równą poprzedniej, a mianowicie 124° . Jeżeli pominiemy tę drobną różnicę, stwierdzimy, że obecnie napięciom obydwu kondensatorów, równym sobie, oczywiście, gdyż kondensatory były przed pomiarem połączone ze sobą metalicznie, odpowiadają skręcenia prawie dokładnie równe połowie 250° , a więc, napięcie kondensatora I zmniejszyło się o wielkość równą tej, o jaką wzrosło napięcie kondensatora II. Mógł więc Faraday uważać, że wyniki tych bardzo trudnych pomiarów dowodzą równej „pojemności lub też równej zdolności elektryzowania“. Gdy bowiem nabój, znajdujący się początkowo tylko na I kondensatorze, rozchodził się na obydwa kondensatory, wspólne napięcie spadało do połowy.

Zgoła jednak inaczej zachodziło całe zjawisko, gdy w jednym z kondensatorów przestrzeń między kulą wewnętrzną i zewnętrzną była

wypełniona choćby częściowo różnym od powietrza izolatorem. Pierwsze pomiary tego rodzaju wykonał Faraday z kondensatorem, w którym między kulami metalowymi była umieszczona gruba półkula z szelaku. Po naelektryzowaniu tego kondensatora pomiar naboju kulki probierczej dał skręcenie 204° . Po połączeniu z kondensatorem II, w którym tak jak poprzednio kule były oddzielone od siebie jedynie powietrzem, skręcenie, odpowiadające wspólnemu napięciu obydwu kondensatorów, nie było już równe połowie skręcenia poprzedniego, tj. 102° , lecz wynosiło 118° . Ilość więc elektryczności, która przeszła z kondensatora z szelakiem na kondensator powietrzny, obniżyła napięcie kondensatora pierwszego o wielkość, odpowiadającą skręceniu $204^{\circ} - 118^{\circ} = 86^{\circ}$, wywołała zaś wzrost napięcia kondensatora drugiego o wielkość znacznie większą, bo odpowiadającą skręceniu 118° . Stąd wynikał bezsporny wniosek, że obecnie pojemności obu kondensatorów nie były równe; ten sam bowiem nabój wywołał różne zmiany napięcia w badanych kondensatorach.

Już to jedno doświadczenie wykazywało słuszność założenia Faradaya, że „różne ciała dielektryczne istotnie wywierają wpływ na stopień rozchodzenia się w nich indukcji“. Pomiarzy dalsze ze szkłem, siarką, olejem skalnym itd. ustaliły, że wpływ ten zależy od rodzaju dielektryka i że każdy dielektryk posiada właściwą sobie „zdolność indukcyjną“, czyli, jak dziś

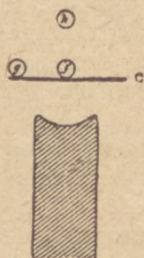
mówimy, stałą dielektryczną. Miarą tej zdolności będzie stosunek pojemności elektrycznej obu kondensatorów, a więc, jak w danym przykładzie stosunek 118^0 do 86^0 , tj. odwrotność stosunku napięć, do jakich ten sam nabój może doprowadzić każdy z kondensatorów. Należy jednak zaznaczyć, że nie będzie on równy szukanej wielkości, lecz jedynie do niej proporcjonalny, „szelak bowiem zajmuje w przyrządzie zaledwie połowę przestrzeni 00, przez którą zachodzi indukcja; reszta jest wypełniona powietrzem tak, jak w drugim przyrządzie“. Pomiar więc bezpośrednio daje jedynie „zdolność indukcyjną“ przyrządu, nie dielektryka.

Te doświadczenia, w których równie godna podziwu jest niezwykła zręczność eksperymentatorska, jak i uderzająca przejrzystość układu, pozwalająca osiągnąć bezsporne wyniki, ustalały niezbicie wpływ środowiska na działania elektryczne. Faraday widział w nich jeszcze coś więcej: potwierdzenie swych wcześniejszych doświadczeń, w których z innej nieco strony próbował obalić teorię „działania na odległość“.

Jednym z jej niewątpliwych założeń było, jak to zaznaczył Faraday w wyżej przytoczonym ustępie, twierdzenie, że siły, z jakimi działają na siebie dwa ciała naelektryzowane o niewielkich rozmiarach, mają kierunek linii prostych, łączących środki danych ciał. Te wcześniejsze doświadczenia Faradaya miały na celu wykazanie, że nie jest to bynajmniej przypadek ogólny.

ny i że działanie indukcyjne może niekiedy mieć kierunek linii krzywej.

Z paru doświadczeń tego typu przytoczymy jedno, być może, najbardziej charakterystyczne. Nad naelektryzowaną przez potarcie pałeczką szelaku umieszczona jest, w pewnej od niej odległości, płytka metalowa, odprowadzona do ziemi; gdy na nią położymy w punkcie środkowym *f* kulkę probierczą (osadzoną na pałeczce izolowanej, nie wyobrażonej na rysunku), to sprawdzenie jej naboju na wadze skręceń okaże, iż kulka wcale naelektryzowana nie jest. Jeżeli jednak położymy ją na brzegu płytki w punkcie *g*, naelektryzuje się dodatnio. W analogiczny sposób naelektryzuje się kulka, gdy ją umieścimy w punkcie *h* i na chwilę połączymy z ziemią.



Rys. 18.
Według
Faradaya

Faraday widzi w tym doświadczeniu dowód, że „działanie indukcyjne zachodzi nie bezpośrednio przez metal lecz przez powietrze lub inne środowisko dielektryczne i w dodatku wzdłuż linii krzywych“, w danym doświadczeniu jakby ugiętych przez płytkę metalową.

Wyniki tych doświadczeń, poparte jeszcze stwierdzeniem wpływu środowiska na działania elektryczne, upoważniały, według Faradaya, do odrzucenia teorii „działania na odległość“. Tak jednak nie było. Szczegółowy rozbiór logiczny

doświadczeń Faradaya pozwoliły ustalić, że dadzą się one zawrzeć w ramach dawnej teorii. Jeżeli bowiem zważymy, że jak to wynika z innych doświadczeń Faradaya, w dielektryku, umieszczonym między naelektryzowanymi przewodnikami, powstaje „stan polaryzacji jego cząstek... przy którym cząstki posiadają miejsca dodatnie i ujemne“, to wystarczy w ogólnym rachunku uwzględnić obok działających na odległość nabożów na przewodnikach działanie również na odległość tych nabożów drobnowych, aby otrzymać dokładne odwzorowanie doświadczeń Faradaya.

Podobnie rzecz się ma i z doświadczeniami, ostatnio omawianymi. Faraday bowiem zakłada z góry to, czego ma dopiero dowieść, a mianowicie, że działania elektryczne źródło swe mają w polaryzacji przyległych cząstek. Jeżeli to założenie odrzucimy, to wyniki tych doświadczeń można całkowicie wyjaśnić jednoczesnym działaniem na kulkę probierczą naboju szelaku i indukowanego przez szelak na płytce metalowej naboju przeciwnego znaku.

Mimo te zastrzeżenia musimy stwierdzić, że te właśnie doświadczenia Faradaya były dla nauki wprost przełomowe. Obok bowiem jedynej dotychczas teorii „działania na odległość“ zjawiała się teoria nowa, równie dobrze, a w niektórych przypadkach nawet lepiej zdająca sprawę z faktów doświadczalnych. Co więcej, już przykład odkrycia stałej dielektrycznej wykazywał dowodnie, że teoria ta pozwala odkrywać

nowe fakty, ustalać nowe związki, które bezpośrednio z dawnej teorii nie wynikały. Przyszłość całkowicie urzeczywistniła nadzieje, jakie Faraday wiązał ze swą teorią; z niej to bowiem wyszło dzieło Maxwella, które stało się podwaliną większości wspaniałych zdobyczy nauki współczesnej.

Dalsze rozwinięcie teorii. Nic też dziwnego, że Faraday starał się możliwie pogłębić swe założenia, przystosować je w sposób najdoskonalszy do zjawisk rzeczywistych. Nowe pojęcia, nowe obrazy, nowe całkowicie pojmowanie zjawisk elektrycznych stopniowo kształtowało się w jego umyśle, nabierając coraz to większej wyrazistości. Dotyczy to przede wszystkim używanego już dawniej przez niego pojęcia linii sił, które powoli zaczynają odgrywać coraz większą rolę w teorii Faradaya przy ich bowiem pomocy wyjaśnia on swe zasadnicze doświadczenia. „Indukcja — pisze Faraday w tej samej jedenastej części „prac doświadczalnych“ — zachodzi wzdłuż linii sił, które, jakkolwiek w wielu doświadczeniach mogą być prostymi, tutaj¹⁾ są zależnie od okoliczności mniej lub więcej zakrzywione. Używam tutaj wyrażenia linie siły indukcyjnej jedynie jako czasowo umówionego sposobu oznaczenia kierunku sił przy indukcji. W doświadczeniach...²⁾ jest zadziwia-

1) w doświadczeniach z pałeczką szelaku.

2) tych, o których była mowa wyżej.

jącą rzeczą, jak podczas gdy pewne linie kończą się na dolnej powierzchni i brzegu metalu, te, które poprzednio biegły obok nich, rozszerzają się i oddalają od siebie, przy czym niektóre się zakrzywiają i kończą swe działanie na górnej powierzchni¹⁾, inne zaś spotykają się wyżej w swym biegu na zewnątrz i łączą swe siły, aby kulce probierczej nadać wzmocniony nabój w większej odległości od źródła siły, oraz tak na siebie działają, że powodują drugie zgięcie w przeciwnym do pierwszego kierunku. Wszystko to dowodzi, według mnie, że całe działanie zachodzi między stykającymi się, złączonymi ze sobą cząstkami nie tylko wzdłuż linii, które, jak można przyjąć, tworzą się poprzez środowisko izolujące między indukującą i indukowaną powierzchnią, lecz również w kierunkach bocznych. To właśnie sprawia, że działanie jest jednocześnie bocznym odpychaniem lub rozszerzaniem się i ułatwia indukcji obchodzenie kątów. Siła ta nie jest równa sile ciężkości, która łączy cząstki wzdłuż linii prostych, bez względu na to, jakie cząstki mogą znajdować się między nimi, ma raczej więcej podobieństwa do szeregu igieł magnetycznych lub do takiego stanu cząstek, w jakim się one, według naszych założeń, znajdują, gdy tworzą prosty lub krzywy magnes“.

Wyraźniej tę samą myśl wypowiada Faraday w końcowych ustępach tej samej serii.

1) płytki.

„Bezpośredniej sile indukcji, działającej, jak to można przyjąć, wzdłuż linii między dwiema naelektryzowanymi i przewodzącymi powierzchniami, towarzyszy boczna lub poprzeczna siła, równoważna rozszerzaniu lub odpychaniu się wyobrażających¹⁾ linii; lub też sile przyciągania, działającej między cząstkami dielektryka w kierunku indukcji, towarzyszy siła odpychania lub rozchodzenia się w kierunku poprzecznym“.

Ale wszystkie te napięcia, odpychania, towarzyszące wzajemnym działaniom ciał naelektryzowanych zachodzą jedynie w dielektryku; wewnątrz przewodnika ich nie ma: na jego powierzchni zaczynają się i kończą linie sił. Nabój przewodnika jest powierzchniowy.

Do tego ważnego wniosku dochodzi Faraday na podstawie zarówno dawnych doświadczeń, wykonanych jeszcze przez Coulomba, jak i swoich własnych, wykonanych na daleko większą skalę. „Z lekkich deseczek drewnianych zestawilem sześcian o bokach 12-stopowej długości; na sześcianie tym naciągnąłem wzdłuż i poprzek druty miedziane tak, że boki były jakby wielką siatką, na druty nakleiłem papier i na nim w różnych kierunkach umocowałem paski cynfolii, tym sposobem wszystko było ze sobą w dobrym metalicznym połączeniu. Tę komorę ustawiłem w sali wykładowej Królewskiego Instytutu... Umieściłem w sześcianie czuły elektroskop o złotych listkach i kilka razy bar-

¹⁾ to działanie.

dzo silnie naelektryzowałem sześcian z zewnątrz; ani podczas ani po naelektryzowaniu nie wykazał elektroskop... najmniejszego śladu naboju... Wszedłem do sześcianu i pozostawiałem w nim z zapaloną świecą, elektroskopem i innymi podobnymi przyrządami, służącymi do stwierdzenia stanu elektrycznego, nie mogłem jednak stwierdzić najmniejszego działania lub też jakiegoś szczególnego wskazania jego istnienia, jakkolwiek cały czas zewnętrzna strona sześcianu była silnie naelektryzowana, wielkie iskry i snopy ogniste wydobywały się z każdej jego części“.

Ten przeto proces, który nazywamy pospolicie elektryzowaniem przewodnika, oznacza w gruncie rzeczy zmianę stanu izolatora. „Gdy elektryzujemy butelkę lejdejską, cząstki szkła są dzięki elektryczności przyrządu elektryzującego doprowadzone do stanu napięcia za każdym razem, gdy dozwoli się siłom elektrycznym inaczej je uporządkować“. Zasada więc indukcji jest istotnie podstawową w działaniach elektrycznych. „Ona stanowi nabój w każdym zwykłym przypadku i prawdopodobnie w każdym przypadku. Wydaje mi się ona przyczyną każdego wzbudzenia elektryczności“. Toteż jakkolwiek Faraday się zastrzega, że nazwy „linii indukcji lub krzywych linii sił“ używa jedynie w ogólnym znaczeniu „podobnie, jak i nazwy linii sił magnetycznych“ i że „linie te są urojone“, to jednak przestają już one być tworamii czysto geometrycznymi. „Siła w jakiegokolwiek

ich części jest... wypadkową składowych, przy czym każda drobina związana jest ze wszystkimi innymi drobinami we wszystkich kierunkach przez napięcie i przeciwdziałanie tych, z którymi się styka". Obraz mechaniczny, jakiemu te zmiany w dielektryku odpowiadają, nie jest jasny dla Faradaya. O siłach poprzecznych, powodujących odpychanie się linii sił, mówi wprost: „obecnie nic więcej poza ich nazwaniem powiedzieć o nich nie mogę". Obrazu tego nie dał również i znakomity następca Faradaya James Clerck Maxwell, mimo że zdołał ująć we wzory matematyczne zarówno napięcie wzdłuż linii sił, jak i ciśnienie boczne, wzajemnie przez nie wywierane; raczej dał kilka obrazów, z których każdy wyjaśniał część jedynie zjawisk elektrycznych i które razem nie tworzyły na ogół harmonijnej całości. Ale nie to było rzeczą ważną. Ważnym, powiedzmy nawet bez obawy przesady, epokowym faktem było wyraźne stwierdzenie roli, jaką odgrywa przestrzeń, otaczająca ciało naelektryzowane. Faraday, co prawda, teorię swą ogranicza do przypadków, gdy przestrzeń tę zajmuje dielektryk i ze zwykłą sobie wstrzemięźliwością nie chce się wypowiadać co do zjawisk zachodzących w próżni („1615. Teoria. moja... nic nie mówi o wnioskach, jakie należałoby wyciągnąć w stosunku do próżni. Nie jest ona bowiem dotychczas dostatecznie zaokrąglona przez doświadczenia z próżnią... przestrzenią"), i tak jednak to, co ona wniosła, „rzuciło istotnie nowe światło

na zjawiska natury“ i zapewniło jej decydujący wpływ na rozwój fizyki aż po dzień dzisiejszy.

Badanie rozbrojenia w gazach. Poglądy Faradaya na istotę zjawisk elektrycznych znalazły od razu zastosowanie w badaniach rozbrojeń elektrycznych w gazach. Konkretnych wyników badania te nie dały i dziś wiemy, że dać nie mogły; droga bowiem do wyjaśnienia tych niezwykle złożonych i często od przypadkowych okoliczności zależnych zjawisk, jakimi są różnego rodzaju rozbrojenia w gazach, nie była łatwa. Prowadziła ona przez żmudne doświadczenia z gazami bardzo rozrzedzonymi, których Faraday na ogół nie wykonywał, przez odkrycie promieni katodowych, odkrycie tzw. działania jonizacyjnego, tj. działania, dzięki któremu gazy stają się przewodzącymi, jednym słowem przez te wielkie odkrycia, jakie okryły sławą znakomitych fizyków z końca 19 i początku 20 stulecia: W. Crookesa, J. Perrina, Piotra i Marię Curie, J. J. Thomsona, Rutherforda i innych.

I otóż te prace Faradaya, pozornie bez wyraźnych wyników, są nieprześcignionym wzorem ścisłości obserwacji naukowej, sztuki eksperymentatorskiej i niezwyklej wprost intuicji. Te cechy twórczości naukowej Faradaya sprawiły, że dwunasta i trzynasta seria „badań doświadczalnych“, poświęcona rozbrojeniom w gazach, może być uważana za pierwsze naukowe badanie tej dziedziny zjawisk, mimo że

prac z tej dziedziny, i to wykonanych nieraz przez wybitnych fizyków, już i poprzednio była spora ilość.

Po stwierdzeniu, że iskra elektryczna nie jest jedyną postacią rozbrojenia i po daniu ogólnej klasyfikacji typów rozbrojenia — klasyfikacji w ogólnych zarysach i dzisiaj obowiązującej — przystępuje Faraday do drobiazgowego, popartego licznymi doświadczeniami opisu warunków, w jakich dane rozbrojenie zachodzi. Na ogół występuje ono zawsze wtedy, gdy „wskutek wzajemnego przybliżenia powierzchni indukujących, zmian ich kształtu, zwiększenia sił początkowych lub innych powodów“, stan napięcia w cząstkach, wytworzony przez siły elektryczne, „wzrośnie do najwyższego stopnia“, jak i może bez szkody dla swej całości cząstka wytrzymać. Nie należy jednak przypuszczać, że „wszystkie cząstki dielektryka, poddanego działaniom indukcyjnym... dochodzą do jednakowego stanu napięcia...“ „rozbrojenie zachodzi, prawdopodobnie nie wtedy, gdy wszystkie cząstki osiągną odpowiedni stan napięcia, lecz gdy stan ten osiągnie swój punkt zwrotny w cząstkach najbardziej dotkniętych“. Wtedy to powstają w masie gazowej cząstki naelektryzowane, ich ruch „powoduje, gdy są one liczne, powstawanie wiatru¹⁾ i prądu... Gdy

1) elektrycznego, który można dogodnie obserwować, elektryzując maszyną elektrostatyczną izolowane ostrze.

mówimy, że powietrze jest naelektryzowane... znaczy to, według mnie, że składa się ono z mieszaniny naelektryzowanych i nienaelektryzowanych cząstek, z których ostatnie są w ilości znacznie większej“.

Te ustępy, tak bliskie współczesnym poglądom na tzw. rozbrojenie samoistne, gdy gaz staje się przewodnikiem jedynie pod działaniem przyłożonego do niego napięcia, nie zostały ujęte przez Faradaya w jedną ogólną teorię, lecz są tu i owdzie rozsiane w jego pracach. Dlatego też większe od nich znaczenie mają ustalone przez niego fakty doświadczalne. Przytaczać ich wszystkich niesposób; wystarczy opisać jedno z takich doświadczeń, które pozwoliło mu stwierdzić zjawisko, od tej pory nierozzerwalnie z jego nazwiskiem związane.

„Dwa drążki mosiężne o grubości 0,3 cala z dwóch przeciwległych stron włożono do kuli szklanej i zetknięto końcami; powietrze w kuli zostało silnie rozrzedzone. Następnie przepuszczono przez nie rozbrojenie z maszyny elektrycznej i w tym samym czasie odsunięto jeden koniec od drugiego. W chwili odsuwania powstało na końcu ujemnego drążka trwale jarzenie, podczas gdy koniec dodatni pozostał całkowicie ciemny. Przy zwiększeniu odległości ukazał się purpurowy prążek lub obłok na końcu drążka dodatniego i posuwał się wprost ku drążkowi ujemnemu, wydłużał się przy powiększaniu odległości, nigdy się jednak nie łączył z ujemnym jarzeniem, gdyż zawsze znaj-

dowała się między nimi krótka ciemna przestrzeń. Dziwną było rzeczą widzieć, jak dodatni purpurowy obłok wydłużał się lub kurczył przy przesuwaniu końców drążków, podczas gdy owa ciemna przestrzeń i ujemne jarzenie pozostawały bez zmiany“. W ten sposób została odkryta słynna ciemnia Faradaya, powstająca przy przechodzeniu prądu przez gaz miernie rozrzedzony. Tego rodzaju spostrzeżeń, opisanych z drobiazgową ścisłością, cennych i dziś jeszcze, zawierają te dwie prace Faradaya całe mnóstwo.

Próby ogólnej teorii elektryczności i magnetyzmu. W ostatniej pracy tego cyklu, opatrzonej numerem czternastym, dał Faraday ogólne zestawienie wyników swych badań i bardziej szczegółowe uzasadnienie swej teorii. Mógł on już wtedy nie bez pewnej dumy stwierdzać: „jak dokładnym wydaje się ogólny pogląd, który wszystkie zjawiska sprowadza do bezpośrednio działania cząstek ciał“. Nic też dziwnego, że ten „pogląd ogólny“ zastosował również Faraday do wyjaśnienia zjawisk magnetycznych. „Przy bliższym zastanowieniu się nad tą sprawą¹⁾ wydało mi się rzeczą niezmiernie wagi ustalić, w miarę możliwości, czy działanie boczne, które nazywamy magnetyzmem lub indukcją prądów elektrycznych, działa na odległość za pomocą pośredniczących cząstek podobnie, jak przy indukcji elektryczności statycznej..., czy

¹⁾ magnetyzmu.

też jego działanie na odległość jest całkowicie niezależne od tych cząstek pośredniczących“.

Doświadczenia wykonane przez Faradaya dla sprawdzenia czy izolatory, jak szelak, siarka, lub ciała niemagnetyczne, jak miedź, wywierają jakikolwiek wpływ na działania magnetyczne, dały wyniki ujemne.

Zmuszało to Faradaya do pewnej zmiany początkowych poglądów. „Nie przypuszczam, aby siły te były wzajemnie od siebie niezależne i aby mogły oddzielnie być czynne, raczej są one w istocie swojej ze sobą związane; stąd jednak bynajmniej nie wynika, że są jednakowej natury. Przy indukcji elektrostatycznej... znajdujące się na przeciwległych końcach cząstki siły, których kierunek zgodny jest z kierunkiem linii indukcji i które zazwyczaj nazywamy elektrycznymi, są biegunowe i działają zawsze na niedostrzegalnych odległościach między sąsiednimi cząstkami; te zaś, które do kierunku tych linii są poprzeczne i noszą nazwę magnetycznych, są kołowe i działają na odległość, i jakkolwiek za pośrednictwem sąsiadujących cząstek, to jednak w zupełnie innym stosunku do zwykłej materii, niż związane z nimi siły elektryczne“.

Ustęp ten poza ważnym stwierdzeniem różnicy między otwartymi liniami sił elektrycznych i zamkniętymi liniami sił magnetycznych zawiera pewną sprzeczność słów przez nas podkreślonych z zakończeniem i, co więcej, z całością poglądów Faradaya. Faradaya, bez wątpie-

nia, sprzeczność tę widział, lecz usunąć jej w danej chwili nie mógł. Nie znał bowiem różnicy, jaka zachodzi między owym „innym stosunkiem do materii“, jaką wykazują działania magnetyczne, i „stosunkiem do materii“ działań elektrycznych. W ówczesnej fizyce odpowiedzi na to pytanie nie mógł znaleźć.

W przeciwieństwie bowiem do badań elektrycznych, które już dawno przed Faradayem doprowadziły do wystarczająco ścisłego podziału na przewodniki i izolatory i pozwoliły badać stopień przewodnictwa lub izolacji, pod względem magnetycznym jedno tylko żelazo było jako tako zbadane. Jakie zmiany wywołuje umieszczenie w pobliżu magnesu albo, jakbyśmy dziś powiedzieli, w polu magnetycznym, miedzi np. lub innego metalu, na to na próżno szukalibyśmy odpowiedzi w ówczesnych podręcznikach fizyki. Zmiany te bowiem były tak nieznaczne, występowały wyraźniej jedynie w przypadku paru ciał, chemicznie bliskich żelazu, że jak wyżej o tym była mowa, nawet Faradayowi nie udało się od razu ich wykryć. Z chwilą więc gdy Faraday zechciał teorię swoją uogólnić i na zjawiska magnetyczne, musiał sam przystąpić do badania własności magnetycznych ciał i wykonać w stosunku do nich pracę analogiczną do tej, jaką poświęcił badaniu stałej dielektrycznej, z tą tylko różnicą, że badanie w tym przypadku było bodaj jeszcze trudniejsze i teren badania o wiele rozleglejszy. To-

też nad olbrzymią tą pracą Faraday strawił pięć lat swego życia od 1845 do 1850 r.

Odkrycie skręcenia płaszczyzny polaryzacji pod działaniem pola magnetycznego. Jak gdyby wstępem do niej było odkrycie w 1845 r. wpływu sił magnetycznych na własności optyczne ciał. Założenie, że dwie tak różne dziedziny zjawisk, jak magnetyzm i światło, mogą być ze sobą w jakimkolwiek związku, było, niewątpliwie, założeniem bardzo śmiałym, nie opartym na żadnym z podówczas znanych faktów. Doświadczenia fizyka włoskiego Morichiniego, który w pierwszych latach wieku XIX próbował dowieść możliwości wzbudzania magnetyzmu w ciałach przez oświetlanie ich promieniami fioletowymi, mogły usposobić raczej sceptycznie do tego rodzaju założeń. Doświadczenia te bowiem, pięknie w swoim czasie po polsku opisane przez uczonego profesora fizyki Królewskiego Uniwersytetu w Warszawie, J. K. Skrodzkiego, człowieka wielkich zasług na polu rozpowszechnienia wiedzy fizycznej w Polsce, nie zostały w należyty sposób potwierdzone przez badania innych fizyków. Zajmował się odkryciem Morichiniego i Faraday podczas swego pobytu razem z Humphrey Davy'm w Rzymie w maju 1814 r. i otrzymał wyniki ujemne. Nie tu więc leżał punkt wyjścia badań Faradaya. Wypłynęło ono raczej z głębokiego „przeświadczenia, że różne postaci, pod którymi występują siły materii, posiadają wspólny początek lub, innymi

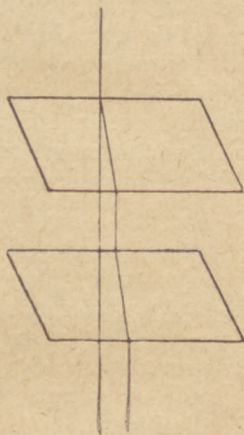
słowy, stoją w takim bezpośrednim związku i wzajemnej zależności, że mogą na równi być zmieniane jedne w drugie i posiadać w swych działaniach równoważne siły". To przekonanie było cechą charakterystyczną fizyki pierwszej połowy XIX wieku, której najwięksi przedstawiciele obalali jedną po drugiej przegrody, jakie początkowe z konieczności powierzchowne badania wystawiły między różnymi dziedzinami zjawisk fizycznych, i właśnie wtedy, gdy Faraday przystępował do swych badań, ustalali w pracach Mayera, Joule'a i Helmholtza ścisłą równoważność między ciepłem i pracą mechaniczną. Ono też dało początek wielkiemu odkryciu, opisanemu przez Faradaya pod nieco dziwnym tytułem „o magnesowaniu światła i oświetlaniu linii sił magnetycznych“ i ogłoszonemu w 1846 r.

Światło, użyte przez Faradaya, nie było światłem zwykłym, lecz tzw. spolaryzowanym, którego szczególne własności opisał Huyghens w swoim „traktacie o świetle“, wydanym w Lejdzie w 1690 r., a którego odkrycie wiąże się ściśle z obserwacją, dokonaną o dwadzieścia lat wcześniej przez uczonego Duńczyka Erazma Bartholinusa.

Bartholinus stwierdził, że patrząc przez szpat islandzki, (kalcyt) położony jedną ze swych naturalnych ścian na papierze, na którym nakreślony jest punkt lub linia, widzimy na ogół dwa obrazy, przy czym jeden tylko z tych obrazów utworzony jest przez promienie, podlegające zwy-

kłym prawom optyki, drugi zaś wykazuje pod tym względem niezrozumiałe odstępstwa.

Huyghens, badając to zjawisko, ustalił cały szereg nowych faktów. Nazwijmy przecięciem głównym płaszczyznę, prostopadłą do naturalnej ściany kryształu i przechodzącą przez wierzchołki dwu kątów rozwartych, jakie ściany te tworzą. Promień światła zwykłego np. słonecznego, padając prostopadle na kryształ w płaszczyźnie przecięcia głównego dzieli się na dwa promienie: jeden z nich, zgodnie ze zwykłymi prawami optyki, przechodzi przez kryształ bez załamania, drugi, pozostając w płaszczyźnie przecięcia głównego, od pionu się odchyła. Gdy promienie te, z których pierwszy nazwał Huyghens zwyczajnym, drugi — nadzwyczajnym, padną również prostopadle na ścianę drugiego kryształu, ustawionego tak, aby płaszczyznę jego przecięcia głównego była równoległa do płaszczyzny



Rys. 19

przecięcia głównego kryształu pierwszego, promień zwyczajny własności swych nie zmieni i przez drugi kryształ przejdzie bez załamania; nadzwyczajny zaś tak, jak po-

przednio, od pionu się odchyli. Inaczej będzie, gdy płaszczyzny przecięć głównych obydwu kryształów są wzajemnie prostopadłe: promień, który w pierwszym kryształcie jest promieniem zwyczajnym, padając prostopadłe na powierzchnię drugiego kryształu, załamie się, a więc stanie się nadzwyczajnym, promień zaś, który przez pierwszy kryształ przejdzie, jako nadzwyczajny, w drugim kryształcie załamaniu nie ulegnie, zachowa się więc jak promień zwyczajny. Tej dziwnej symetrii, która sprawia, że każdy z promieni nabywa własności drugiego przy obrocie kryształu o 90° Huyghens wyjaśnić nie zdołał. „Ale żeby powiedzieć, jak się to dzieje, nie znalazłem dotychczas nic, co by mnie zadowolilo“.

Newton, który badaniom Huyghensa poświęcił w swej optyce sporo miejsca, pierwszy zwrócił uwagę na tę symetrię. Według niego należy założyć, że światło posiada różne własności w dwu kierunkach, prostopadłych wzajemnie i do kierunku promienia. Trudności jednak wyjaśnienia tego „podwójnego załamania“ były tak wielkie, że od czasów Newtona przez sto blisko lat badania nad tym zagadnieniem zupełnie się nie posunęły. Dopiero w 1809 r. ukazała się praca, zawierająca nowe i bardzo ważne wyniki. Autorem jej był oficer francuski, Stefan Ludwik Malus, od dawna z zamiłowaniem badający zjawiska optyczne i to często w warunkach zupełnie jakimkolwiek badaniom naukowym nie sprzyjających, jak np. podczas wy-

prawy z Napoleonem do Egiptu. Gdy pewnego wieczora rozmyślał nad podwójnym załamaniem, chcąc opracować matematyczną jego teorię na konkurs, ogłoszony przez Paryską Akademię, spojrzął przez kryształ szpatu islandzkiego na oświetlone promieniami zachodzącego słońca okna pałacu Luksemburskiego, który był dobrze z jego mieszkania widoczny. Ku wielkiemu swemu zdziwieniu zobaczył zamiast dwu obrazów jeden, przy czym przy obracaniu kryształu obraz ten tworzyła już to wiązka promieni zwyczajnych, już to nadzwyczajnych. Zachód słońca przerwał jego obserwacje. Malus, jednak wiedziony genialnym błyskiem intuicji, powiązał widziane zjawisko z odbiciem się światła słonecznego od szyb. Zapalił świecę i zaczął badać przez kryształ szpatu światło jej odbite od powierzchni wody lub od szyby szklanej. Gdy nad ranem skończył swe całonocne badania, znalazł już w głównych zarysach przebieg zjawiska. Wielkie odkrycie polaryzacji przez odbicie było dokonane.

Malus ustalił, że „światło odbite przez powierzchnię wody pod kątem $52^{\circ} 45'$ ma wszystkie cechy jednej z wiązek świetlnych, wytworzonych przez podwójne załamanie w kryształach szpatu islandzkiego, którego przecięcie główne byłoby równoległe lub prostopadłe do płaszczyzny, przechodzącej przez promień padający i promień odbity, i którą nazwiemy płaszczyzną

odbicia¹⁾). Gdy promień odbity padnie na dowolny kryształ, mający własność podwajania obrazów, którego przecięcie główne jest równoległe do płaszczyzny odbicia, nie rozdzieli się na dwie wiązki, jakby to było z promieniem światła bezpośredniego, lecz załamie się według zwykłego prawa, jak gdyby kryształ ten utracił zdolność zdwajania obrazów. Jeżeli, przeciwnie, przecięcie główne kryształu jest prostopadłe do płaszczyzny odbicia, promień odbity załamie się całkowicie według prawa nadzwyczajnego. W położeniach pośrednich rozdzieli się na dwie wiązki, według tego samego prawa i w tym samym stosunku, jak gdyby nabył swe nowe własności pod wpływem podwójnego załamania“. Te same własności posiada światło odbite od szyby szklanej pod kątem $54^{\circ} 35'$.

Tak właśnie spolaryzowanego światła, jak światło tego rodzaju nazwał Malus, nawiązując do poglądów Newtona o biegunowo różnych własnościach światła w kierunkach wzajemnie prostopadłych, użył Faraday. Do obserwacji posługiwał się jednak nie zwykłym kryształem szpatu islandzkiego, lecz pryzmatem Nicola. Pryzmat ten, zazwyczaj nazywany po prostu nikolem, składa się z dwu części, otrzymanych przez odpowiednie przecięcie naturalnego kryształu szpatu islandzkiego prostopadłe do płaszczyzny przecięcia głównego i do końcowych

1) Zazwyczaj nazywamy tę płaszczyznę płaszczyzną padania.

plaszczyn krysztalu oraz przez scięcie tychże plaszczyn w ten sposób, żeby tworzyły one z krawędzią krysztalu kąt nie 71° , jak poprzednio, lecz 68° . Części te są następnie sklezione balsamem kanadyjskim. W tych warunkach, gdy światło pada prostopadle na krysztal, promień zwyczajny ulega wewnątrz nikola całkowitemu wewnętrznemu odbiciu i przez nikol przejść może jedynie promień nadzwyczajny. Sam układ doświadczenia, przy którego pomocy Faraday chciał wykazać, jak o tym pisze w przypisie, wyjaśniającym niezrozumiały dla wielu nagłówek swej pracy, że „linia sił magnetycznych może być oświetlona, jak ziemia przez słońce lub krzyż z nitek w lunecie przez lampę“, był bardzo prosty. Pomiedzy biegunami elektromagnesu było umieszczone ciało przezroczyste, diamagnetyczne, tzn. takie, „które, będąc przecinane przez linie sił magnetycznych“, „nie przybiera pod ich działaniem zwykłego stanu magnetycznego żelaza“. Światło lampy olejnej Arganda, spolaryzowane wskutek odbicia w plaszczynie poziomej od szyby szklanej, przechodziło przez dane ciało tak, że kierunek promienia świetlnego był prawie dokładnie zgodny z kierunkiem linii sił magnetycznych i padało na nikol, który można było obracać około osi poziomej. Zgodność kierunków promienia i linii sił osiągnął Faraday w sposób dwojaki: bieguny magnesu były ustawione stycznie do promienia światła, ciało zaś badane wystawało nieco poza bieguny, lub też, jak w doświadczeniach póź-

niejszych „rdzenie elektromagnesu były wydrążonymi walcami żelaznymi i spolaryzowany promień światła szedł wzdłuż ich osi i przez umieszczone między nimi ciało diamagnetyczne“.

Pierwszym ciałem, użytym do tych doświadczeń, był pewien gatunek ciężkiego szkła, którego własności zbadał dokładnie Faraday wówczas, gdy, jak o tym była mowa wyżej, stykał się blisko z przemysłem optycznym. Kawałek takiego szkła, umieszczony między niewzbudzonymi biegunami magnesu „działał tak, jakby działało powietrze, woda lub jakiegokolwiek inne obojętne ciało, i gdy nikol był obrócony do takiego położenia, że gasił promień spolaryzowany¹⁾ lub raczej, że wytworzony przezeń obraz był niewidzialny, umieszczenie tego szkła nie wywoływało pod tym względem żadnych zmian“. Gdy jednak „w tych warunkach wzbudzo siłę elektromagnesu, przepuszczając przez jego zwoje prąd elektryczny, natychmiast stał się widoczny obraz płomienia lampy i pozostawał widoczny, dopóki przepływał prąd. Gdy prąd przerwano, gdy więc siła magnetyczna zniknęła, natychmiast znikło również światło“. Działanie magnetyczne ujawniało się w pewnego rodzaju skręcaniu, „gdy bowiem obraz płomienia lampy stawał się widoczny, mniejsze lub

¹⁾ Wtedy, zgodnie z doświadczeniami Malusa, płaszczyzna przecięcia głównego była równoległa do płaszczyzny odbicia.

większe obrócenie nikola w prawą lub lewą stronę gasiło obraz“. Zjawisko zachodziło tak, jak gdyby płaszczyzna polaryzacji, początkowo równoległa do płaszczyzny przecięcia głównego, skręcała się o pewien kąt, równy, oczywiście, temu, o jaki należało obrócić nikol, aby światło zgasić i przywrócić znow równoległość płaszczyzn. Kierunek tego skręcenia ujmuje Faraday w prostą regułę. „Niech ciałem diamagnetycznym będzie zegarek kieszonkowy, biegun północny magnesu niech znajduje się przed tarczą, biegun zaś południowy z tyłu, wtedy ruch wskazówki wyznaczyłyby kierunek, w którym obróciłby się promień świetlny¹⁾ przy magnesowaniu²⁾. Wielkość tego skręcenia zależy od paru niezależnych na ogół od siebie czynników. „Przede wszystkim... znajduje się ona, jak się zdaje, w związku z długością ciała diamagnetycznego, przez które przechodzą promień i linie sił magnetycznych... Im większa była rozciągłość diamagnesu w kierunku promienia..., tym większy był obrót promienia i o ile można wnioskować z tych pierwszych doświadczeń, wielkość obrotu była dokładnie proporcjonalna do przebieżonej przez promień drogi w diamagnesie“. Poza tym skręcenie wzrasta wraz z natężeniem pola magnetycznego: „w granicach

1) Właściwie „płaszczyzna polaryzacji światła“.

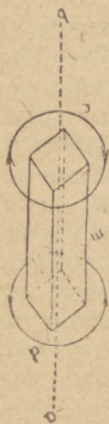
2) Światło idzie w kierunku od bieguna północnego do południowego, zgodnie z kierunkiem linii sił.

stosowanego... zakresu natężeń obrót wydaje się być wprost proporcjonalny do natężenia siły magnetycznej¹⁾). Wreszcie wielkość kąta skręcenia zależy od rodzaju badanego ciała. Faraday stwierdził, że prócz ciężkiego szkła inne jeszcze ciała nabywają pod działaniem pola magnetycznego własności skręcania płaszczyzny polaryzacji i podał cały długi wykaz tych ciał. Nie ze wszystkimi jednak ciałami diamagnetycznymi otrzymał Faraday wyniki dodatnie: powietrze np. i inne gazy nie wykazały żadnych własności skręcających i dopiero znacznie później około 1884 r. udało się Henrykowi Becquerelowi oraz prawie jednocześnie Kundtowi i Roentgenowi wykryć i w tych przypadkach istnienie skręcania. I te jednak wyniki, jakie otrzymał Faraday, całkowicie wystarczały, aby stwierdzić ponad wszelką wątpliwość wpływ pola magnetycznego na własności optyczne takich ciał, które poprzednio uważano za nie podlegające zupełnie działaniom magnesu.

Jest rzeczą ciekawą, że doświadczenia, wykonane przy użyciu pola magnetycznego elektromagnesu, nie wydawały się Faradayowi wystarczającymi, aby móc z nich bezpośrednio wyprowadzić wnioski co do działania przewodnika bez rdzenia żelaznego; i drugą część swej rozprawy poświęca badaniu takiego właśnie działania, umieszczając badane ciała diamagnetycz-

1) Wnioski te są słuszne w przypadku jednostajnego pola magnetycznego.

ne wewnątrz spirali miedzianej, przez którą przepływa prąd elektryczny. Wyniki, oczywiście, były te same, co poprzednio. Jedyna różnica, którą ze zwykłą sobie umiejętnością obserwowania najmniejszych szczegółów zauważył i dokładnie opisał Faraday, polegała na sposobie, w jaki obraz płomienia stawał się widoczny. Przy użyciu pola magnetycznego spirali bez rdzenia pole widzenia rozjaśniało się nagle, przy użyciu pola elektromagnesu — stopniowo. Różnica ta sprowadzała się w gruncie rzeczy do odkrytego już poprzednio przez Faradaya zjawiska indukcji własnej: indukcja ta, o wiele większa w przypadku elektromagnesu, niż spirali bez rdzenia, nie pozwalała prądowi elektrycznemu dojść od razu do swojej największej wartości; natężenie prądu wzrastało stopniowo i z nim razem natężenie pola.



Rys. 20.
Według
Faradaya.

Samo skręcanie płaszczyzny polaryzacji było znane i przed Faradayem. Już Arago i Biot stwierdzili, że taką własność posiada np. kwarc. Biot własność tę znalazł również u wielu cieczy, jak np. w olejku terpentynowym, roztworze wodnym cukru itd. W tych jednak przypadkach była to charakterystyczna cecha niewielu na ogół ciał, nie uwarunkowana działaniami zewnętrznymi. Toteż mimo daleko sięgającego podobieństwa obydwu skręceń: naturalnego i pod

działaniem pola magnetycznego, zachodzi między nimi pewna zasadnicza różnica, na którą Faraday zwrócił od razu uwagę. „Niech m będzie naczyniem szklanym, wypełnionym olejkim terpentynowym, który od natury posiada zdolność skręcania w prawo spolaryzowanego promienia ab . Gdy promień idzie od a do b , oko znajduje się w b , skręcenie będzie w prawą stronę lub zajdzie w kierunku wskazanym strzałką na kole c . Gdy promień idzie od b do a , to dla obserwatora w a skręcenie również zajdzie w prawą stronę, tzn. w kierunku, oznaczonym na kole d . Niech teraz dokoła olejku terpentynowego płynie prąd elektryczny w kierunku wskazanym na kole c lub są ustawione bieguny magnesu tak, ażeby wyrzucić to samo, co prąd, działanie... Promień idący od a do b wyda się oku, umieszczonemu w b , silniej skręcony w prawo lub silniej skręcony w kierunku c . Jeżeli jednak promień idzie od b do a i oko obserwuje w a , wtedy zjawisko jest inne; nowe bowiem skręcenie, zamiast zachodzić w kierunku oznaczonym na d , ma kierunek przeciwny lub też zachodzi w kierunku na lewo od obserwatora. Indukowane skręcenie dodaje się przeto do naturalnego, gdy promień idzie od a do b , odejmuje się zaś od niego, gdy promień idzie od b do a “.

W ten sposób został ustalony „po raz pierwszy istotny, bezpośredni związek i zależność między światłem i siłami magnetycznymi i elektrycznymi“. Twierdzenie, „że wszystkie siły

przyrody są ze sobą związane i posiadają wspólny początek“, stawało się coraz bardziej prawdopodobne. Niewątpliwie „w ówczesnym stanie wiedzy... trudno byłoby wyrazić to w ścisłych słowach“, odkrycie jednak Faradaya pozwalało z większą niż poprzednio pewnością przewidywać rychłą chwilę wielkiej syntezy naukowej, którą później dała elektromagnetyczna teoria światła.

Dalsze badanie magnetycznych własności ciał. Dla Faradaya odkrycie to posiadało inne jeszcze, równie może ważne znaczenie: czuła metoda optyczna potwierdzała jego dawniejsze założenia, że i działania magnetyczne zmieniają stan środowiska, przez które przechodzą; potwierdzała, co prawda, nie dla wszystkich ciał: ciała nieprzezroczyste, np. metale niemagnetyczne jak miedź, nie mogły być tą metodą badane¹⁾). Należało przeto znaleźć inne sposoby badania, które by pozwoliły rozszerzyć zakres badań i pogłębić otrzymane wyniki. I do tych nowych badań zabiera się w 1845 r. z niesłabnącą energią Faraday.

Tym razem używa on potężnego elektromagnesu i między jego biegunami wiesza na długich niciach kokonowych badane ciało. Ciałem

¹⁾ Kundtowi przy użyciu bardzo cienkich warstwek metalu udało się stwierdzić skręcanie płaszczyzny polaryzacji w metalach magnetycznych takich, jak żelazo.

tym początkowo było to samo ciężkie szkło, jakiego Faraday używał w poprzednim doświadczeniu. Gdy elektromagnes został wzbudzony, sztabka szklana „ustawiała się prostopadle do kierunku linii sił magnetycznych i zatrzymywała się po kilku drganiach. Przy odchyłaniu jej ręką z tego położenia wracała do niego i to zjawisko mogło być wielokrotnie powtórzone“. Położenie takie nazywa Faraday równikowym (na rysunku oznaczone literami e r) w odróżnieniu od położenia osiowego (NS), które przyjmuje sztabka żelazna, swobodnie zawieszona



Rys. 21.

Według Faradaya

między biegunami magnesu. Gdy sztabka wisiała niezupełnie pośrodku, tak że punkt jej zawieszenia nie był w jednakowej odległości od obu biegunów, wtedy przy ustawianiu się

sztabki w położeniu równikowym środek ciężkości był jakby odpychany od tego bieguna, którego był bliżej. To zjawisko odpychania szczególnie jaskrawo występowało, gdy kulę lub sześćcian z tego samego szkła umieszczano w pobliżu jednego z biegunów elektromagnesu; badane ciało oddalało się od bieguna w kierunku linii sił. Na ogół, w jakimkolwiek układzie doświadczenia szkło zawsze wykazywało dążność przechodzenia od miejsc o większym natężeniu pola magnetycznego do miejsc o natężeniu mniejszym. Stąd wynika, że „ciężkie szkło, jakkol-

wiek podlegające działaniu magnetycznemu, nie może być uważane za ciało magnetyczne, przynajmniej w zwykłym znaczeniu tego wyrazu, i nie za takie, jak żelazo, kobalt, nikiel i ich związki. Wykazuje ono w tych warunkach nowe dla nas magnetyczne własności; i jakkolwiek zjawisko to, co do swej istoty i swego charakteru, różni się bardzo od tych, jakie zachodzą przy działaniu w ciężkim szkłe na światło, to jednak wydaje się zależne lub związane z tym stanem, w którym wtedy znajdowało się szkło, i w ten sposób łącznie z tym zjawiskiem dowodzi rzeczywistości tego nowego stanu“.

Szkło, jak to można było z góry przewidzieć, nie jest jedynym ciałem, wykazującym te nieznane poprzednio własności magnetyczne. Cały szereg ciał, które Faraday badał w podobnych, jak szkło, warunkach, zachowywał się analogicznie. Lista tych ciał, między którymi znajduje się woda, alkohol, siarka, a nawet mięso wołowe, krew, jabłko, chleb, doprowadza Faradaya do wniosku, że „gdyby człowieka... zawiesić w podobny sposób i umieścić w polu magnetycznym, ustawiłby się w położeniu równikowym; wszystkie bowiem substancje, z których się on składa, nie wyłączając krwi, posiadają tę własność“.

Warunki doświadczenia nie pozwoliły Faradayowi otrzymać danych ilościowych, toteż jedynie w przybliżeniu podaje on „siłę tego magnetycznego działania na rozmaite ciała“. Na pierwszym miejscu umieszcza ciężkie szkło,

o wiele dalej wodę, a za nią alkohol i eter. Ale i te dane pozwoliły obalić rozpowszechnione mniemanie, „że wszystkie ciała są tak magnetyczne, jak żelazo“ i że umieszczone między biegunami magnesu ustawiają się osiowo. Odkryta została nowa, nie tylko nieznaną, ale nawet nieprzewidywaną grupą ciał i termin „diamagnetyczny“ miał już odtąd oznaczać nie ciała, obojętne na działania magnetyczne, jak je tak niedawno jeszcze określał Faraday, lecz ciała o własnościach magnetycznych odmiennych od własności żelaza. Lecz nie dość na tym: i między metalami znalazły się ciała diamagnetyczne — bizmut, antymon, kadm, miedź, złoto, ołów, rtęć, srebro, cyna, cynk. Wszystkie one zachowywały się podobnie, jak ciężkie szkło, i położenie równikowe, jakie przyjmowały w polu magnetycznym, nie pozwalało wątpić o pokrewieństwie ich własności magnetycznych z własnościami poprzednio zbadanych ciał.

W paru tylko przypadkach zachodziło nowe zjawisko, które swoim zwyczajem Faraday poddał od razu gruntownemu zbadaniu. Gdy między biegunami elektromagnesu zawieszono sztabkę miedzianą i ustawiono ją w położeniu między linią osiową i równikową, wzbudzenie elektromagnesu nie odchyliło jej ku położeniu równikowemu, lecz osiowemu. „Ruch ten jednak nie trwał aż do dojścia do tego położenia, lecz nagle ustawał.. i przechodził bez drgań w martwy spoczynek“. Gdy z tego położenia sztabka była odchylona, „nie tylko nie wracała

do niego, lecz w ten sam sposób przyjmowała nowe położenie“. Źródło tego zjawiska leży, według Faradaya, w prądach elektrycznych indukowanych w masie miedzi. Istotnie, z pierwszych już doświadczeń Faradaya nad prądami indukowanymi wynikało, że w przewodniku poruszającym się w polu magnetycznym powstają prądy elektryczne. Gdy podaną wówczas regułę, wyznaczającą kierunek prądu indukowanego, zastosujemy do danego przypadku i uwzględnimy pole magnetyczne, wzbudzone przez te prądy, stwierdzimy od razu, „że w przypadku, gdy miedź zaczyna się poruszać, powstaje siła o kierunku takim, że hamuje ruch i stara się doprowadzić miedź do spoczynku“. Siła ta, rzecz prosta, będzie tym większa, im z lepszym przewodnikiem elektryczności będziemy mieli do czynienia, jest ona bowiem proporcjonalna do natężenia prądu indukowanego; jasną jest więc rzeczą, że działanie to będzie o wiele większe w przypadku miedzi niż bizmutu, co też Faraday bezpośrednim doświadczeniem potwierdził.

Odkrycie metali diamagnetycznych było dla Faradaya zupełną niespodzianką, w poprzednich bowiem swych pracach (z 1836 r. i 1839 r.) wypowiadał on zdanie, oparte na zanikaniu stopniowym własności magnetycznych żelaza ze wzrostem temperatury, że „wszystkie metale miałyby prawdopodobnie te same własności magnetyczne, gdyby można wystarczająco obniżyć ich temperaturę“. Temu dawnemu poglą-

dowi przeczyło wykonane świeżo przez Faradaya doświadczenie: nagrzewanie płomieniem spirytusowym sztabek żelaznych i niklowych zmniejszało w wydatnym stopniu własności magnetyczne tych dwu najbardziej typowych przedstawicieli grupy, którą dziś nazywamy ferromagnetyczną, nie pozwalało jednak nigdy na stwierdzenie choćby najmniejszych objawów diamagnetyzmu. Te same własności magnetyczne wykazały również, jak tego dowiódł Faraday, wszystkie związki tych metali, nawet wtedy, gdy znajdowały się w stanie ciekłym. Stwierdzenie tego faktu pozwoliło Faradayowi wykonać bardzo ciekawe i ważne doświadczenie. Przygotował trzy roztwory soli żelaza, o coraz to mniejszym stężeniu i wlał je do odpowiednich rurek szklanych. „Gdy rurkę nr 1 (najbardziej magnetyczną¹⁾) umieszczono w roztworze nr 1, nie wykazywała ona żadnej dążności do zajęcia pewnego szczególnego położenia pod wpływem siły magnetycznej, lecz pozostawała tam, gdzie była. Zanurzona do nru 2 ustawiała się dobrze osiowo, w roztworze nr 3 przyjmowała ten sam kierunek z większą jeszcze siłą. 2366. Rurka nr 2, znajdując się wewnątrz roztworu nr 1, ustawiała się równikowo, tzn., jak ciężkie szkło, bizmut lub w ogóle jakieś ciało diamagnetyczne w powietrzu. W roztworze nr 2 była obojętna, nigdzie się nie ustawiała i w roztworze nr 3 ustawiała się osiowo

¹⁾ o największym stężeniu.

lub jak ciało magnetyczne. Rurka nr 3, o naj-
słabszym roztworze, ustawiała się równikowo
w roztworach nr 1 i nr 2 i nie wykazywała
w roztworze nr 3...". Dalsze próby, połączone
z pewnymi zmianami w układzie doświadczenia,
ustaliły niezbicie, że „gdy rurka zawierała sil-
niejszy roztwór, niż ten, który ją otaczał, była
przyciągana przez biegun, gdy zaś jej roztwór
był słabszy, doznawała odpychania“. Stąd przez
analogię można było wywnioskować, czego jed-
nak Faraday wyraźnie nie sformułował, że po-
miary wykonane w powietrzu wskazują jedy-
nie, czy dane ciało jest bardziej lub mniej ma-
gnetyczne od powietrza. Dopiero ustalenie włas-
ności magnetycznych powietrza pozwala zdać
sobie sprawę z „bezwzględnych“, tzn. odniesio-
nych do próżni własności ciał.

Początkowe doświadczenia Faradaya z po-
wietrzem i innymi gazami dały wyniki całkowi-
cie ujemne: „we wszelkiego rodzaju doświadcze-
niach zajmowały gazy i pary położenie pośre-
dnie między ciałami magnetycznymi i diama-
gnetycznymi... i okazywały się równoważnymi
próżni“. W rok później jednak udało się Fara-
dayowi otrzymać inne wyniki. Do podjęcia na
nowo pracy nad gazami skłoniła go notatka,
którą uczone włoski Zantedeschi przesłał Fa-
radayowi, notatka, zawierająca opis odkrycia
przez Bancalariego własności magnetycznych
płomienia. „Pierwszy fizyk Europy“¹⁾, jakim

1) Tak nazwał Faradaya Helmholtz.

był wtedy niewątpliwie Faraday, podając to do wiadomości czytelników naukowego pisma angielskiego „Philosophical Transactions“, z prostotą i skromnością usprawiedliwia się, że do wiadomości o tym odkryciu dołącza również i opis swych dalszych doświadczeń: „to, co chcę opisać, prawdopodobnie będzie jedynie potwierdzeniem tego, co mogło być zauważone we Włoszech lub gdzie indziej, gdyby tak było, sądzę, że będzie mi to darowane; drugie bowiem świadectwo w tak ważnej sprawie nie jest bynajmniej zbyteczne i może w danym przypadku spowodować innych fizyków do zajęcia się nową dziedziną badań, jaką stworzyły ciała diamagnetyczne“. Te, z taką skromnością ogłoszone doświadczenia były ni mniej ni więcej jak szczegółowym zbadaniem własności magnetycznych gazów, które nieco przypadkowemu odkryciu Bancalariego dawało mocną podstawę i naukowe uzasadnienie. Badania te stwierdziły, „że wiele ciał gazowych jest diamagnetycznych“¹⁾ i że za „punkt zerowy“, oddzielający ciała magnetyczne od diamagnetycznych należy uważać próżnię, nie zaś powietrze. Można już było tedy uważać za niezbity fakt, że „materia tak samo zawsze podlega siłom magnetycznym jak sile ciężkości, siłom elektrycznym, chemicznym lub spójności... Substancje rozpadają się na dwie wielkie grupy: ciał magnetycznych i tych, które nazywamy diamagnetycznymi.

1) Wyjątek stanowił tlen.

Między tymi dwoma grupami zachodzi tak wielkie, jakkolwiek różne co do stopnia, i bezpośrednio przeciwieństwo, że gdy jedna substancja z jednej grupy jest przyciągana, inna z drugiej grupy jest odpychana i że gdy sztabka, zrobiona z jednej z tych substancyj, przyjmuje pewne położenie, sztabka z innej substancji ustawia się do niej prostopadle“.

Faraday nie stawia żadnej swojej teorii co do różnic wewnętrznej budowy, odpowiadających różnicom własności magnetycznych. Porzucza na przystosowaniu do nowych zjawisk dawnej teorii Ampère'a magnesów drobinowych. „Wyjaśnienie ruchu ciał diamagnetycznych i wszystkich zjawisk dynamicznych, które ujawniają się przy działaniu na nie magnesów, mogłoby polegać na założeniu... że (podczas gdy) cząstki ciał magnetycznych zwracają swe północne i południowe bieguny do przeciwnych biegunów indukującego magnesu, cząstki ciał diamagnetycznych zachowują się odwrotnie... 2430. Według teorii Ampère'a założenie to sprowadzałoby się do tego, że podczas gdy w żelazie i innych ciałach magnetycznych prądy indukowane¹⁾ byłyby równoległe do prądów, płynących w indukującym magnecie, w bizmucie, ciężkim szkle i innych ciałach diamagnetycznych, płynęłyby w kierunku przeciwnym“.

¹⁾ Chodzi tu oczywiście o prądy drobinowe, które, według Ampère'a, płynęłyby w drobinach ciała.

Do tych jednak wyjaśnień Faraday wielkiej wagi nie przywiązywał: „los przeze mnie wypowiedzianych... hipotetycznych poglądów jest mi całkowicie obojętny“; dbał on jedynie o ścisłość tych założeń, na których opierał „prawo lub stwierdzenie faktów“. To cenne wyznanie zawdzięczamy polemice, jaką wszczął z Faradayem fizyk francuski, Edmund Becquerel, jeden z rodu wybitnych fizyków, którego syn, wspomniany już przez nas, Henryk Becquerel, miał się następnie wsławić pierwszym stwierdzeniem promieniotwórczości ciał. Becquerel w ostry i napastliwy sposób wystąpił przeciwko Faradayowi, zarzucając mu przywłaszczenie odkrycia Becquerela ojca, który w 1827 r. wykrył istnienie ciał, ustawiających się poprzecznie do linii sił, oraz zbyt pośpieszne wyodrębnienie tych ciał, jako grupy ciał diamagnetycznych. Faraday odpowiedział ze spokojem i godnością, jaką daje ludziom wyższym poczucie swej słuszności. „Wywody tych poważnych, tak miarodajnych we wszystkich zagadnieniach magnetyzmu fizyków¹⁾ podwójnie mnie zastanowiły. Po pierwsze, uważałbym za możliwe, że co dotyczy ogólnej zasady magnetycznej, którą, zdawało mi się, odkryłem, byłem istotnie w błędzie; i po wtóre, że choćbym miał pod tym względem słuszność, musiałem widać swoje wyniki opisać w wysoce niedostateczny sposób, kiedy dwóch tak kompetentnych mężów nie nabrało

¹⁾ ojca i syna Becquerelów.

o nich lepszego przekonania. Muszę więc wbrew swojej woli zająć się bliższym zbadaniem tej sprawy...“

Rzecz prosta, że nowe doświadczenia, które na skutek tych zarzutów wykonał Faraday, potwierdziły jego tak ostrożnie postawione wnioski i ustaliły, tym razem ostatecznie wielkie odkrycie, którego Becquerel, obserwując o tyle wcześniej te same fakty, uczynić nie zdołał. Podobnie bezpłodna była sięgająca jeszcze 1778 r. obserwacja Brugmannsa, że umieszczone na powierzchni rtęci papierowe okręciiki, na których leżał kawałek bizmutu, były przez bieguny magnesu odpychane. Obserwacja ta, opisana w dziele „o magnetyzmie lub obserwacjach powinowactw magnetycznych“, przebrzmiała bez echa i pozostała, na równi z „odkryciem“ Becquerela, odosobnionym faktem bez znaczenia naukowego.

Traktując niesprawiedliwą napaść z wyrozumiałością mędrca, pisał Faraday w zakończeniu swej odpowiedzi Becquerelowi: „W tak nowych jak ta dziedzinach musi z konieczności zachodzić różnica poglądów co do pewnych punktów, i to właśnie jest dobrze, bo pobudza do dokładniejszego badania faktów“.

Badania magnetycznych własności ciał stanowią główną treść pozostałych seryj „badań doświadczalnych.“ Jednocześnie prawie z niemieckim fizykiem, Plückerem, Faraday stwierdza, że ciała różnokierunkowe, jak np. kryształy bizmutu, w różnych kierunkach posiadają różne

własności magnetyczne, następnie ustala, że z rozrzedzeniem gazu maleje działanie pola magnetycznego na gaz, że działanie to również maleje ze wzrostem temperatury ciała i to nie tylko w przypadku ciał stałych, lecz również i gazów.

W pracy nad tymi, tak podówczas mało znanymi zjawiskami, nie był już Faraday odosobniony. Odkrycia Faradaya wywołały duże zainteresowanie w świecie naukowym; prace, dotyczące magnetyzmu, stawały się coraz częstsze. Magnetyzm stopniowo przestawał być „ciemną na niewiele tylko ciał działającą siłą.“ „Dziś wiemy, że działa on na wszystkie ciała i znajduje się w wewnętrznym związku z elektrycznością, ciepłem, działaniami chemicznymi, światłem, krystalizacją i przez nią z siłami spójności“. To wielkie przeobrażenie poglądów, ta wielka mnogość faktów, niepodjęrzewanych zależności, która w tak krótkim stosunkowo czasie wzbogaciła wiedzę fizyczną, jest w pierwszym rzędzie zasługą niezłomowanej pracy Faradaya.

Ostatnie lata. A praca ta była wykonywana w coraz to cięższych warunkach. Zdrowie Faradaya, które nigdy nie było dobre, stawało się coraz gorsze. Już w 1843 roku wyczerpanie jego było tak daleko posunięte, że zmuszony był przerwać na dwa lata wszelką pracę naukową. Coraz to częściej można spotkać w jego rozprawach wzmianki o wzrastającym osłabieniu pa-

mięci i o złym stanie zdrowia. W serii 20, zawierającej opis odkrycia diamagnetyzmu, Faraday, usprawiedliwiając się, że nie wspominał o pracy Le Baillifa, który stwierdził odpychanie antymonu i bizmutu przez igłę magnetyczną, pisze: „ci, co czytają moje rozprawy, poznają w tym przypadku, jak i w wielu innych, skutki coraz to słabszej pamięci; ufam że mi to wybaczą i uważać będą tego rodzaju niedopatrzenia i błędy za nieumyślne.“ Wkrótce znów zmuszony był przerwać na pewien czas badania własności magnetycznych gazów: „chciałem je prowadzić dalej, ale obecny stan mego zdrowia na to mi nie pozwala“. W liście pochodzącym z tego samego mniej więcej czasu, wysłanym do jednego z zagranicznych przyjaciół, pisze Faraday: „Najgorszą jest jednak rzeczą, że, jak to stwierdziłem, przeglądając wcześniejsze notatki, wszystkie te wyniki otrzymałem już osiem do dziewięciu miesięcy temu; całkowicie o nich zapomniałem. Jest mi to bardzo nieprzyjemne“.

Zbyt szybkemu wyczerpaniu organizmu zapobiegał niewątpliwie regularny, spokojny tryb życia Faradaya. Mieszkając nad laboratorium, które zajmowało parter i piwnicę, mógł Faraday bez wielkiego stosunkowo zmęczenia dni całe poświęcać pracy laboratoryjnej, zazwyczaj samotnej, czasami tylko urozmaicanej obecnością małej siostrzeniczki, wychowawicy Faradaya, którą pani Faraday, wychodząc na miasto, zostawiała pod opieką męża. Dziecko,

oczywiście, musiało się zachowywać cicho i siedzieć spokojnie z robótką w ręku. Faraday jednak zwracał się do niej od czasu do czasu z jakimś przyjaznym słówkiem, uśmiechał się do niej lub rzucał na wodę kawałek potasu, aby sprawić dziecku rozrywkę. W czasie wakacyj taka cisza nie obowiązywała: nawet podczas codziennych lekcji czytania więcej było zabawy, aniżeli nauki. Ku wielkiemu zdziwieniu gości, odwiedzających Faradaya, krzyki i śmiechy, dochodzące z pokoju dziecinnego, dowodziły wyraźnie, jak czynny udział w tych zabawach brał wielki uczoney ¹⁾. Wtedy, w tych rzadkich chwilach wypoczynku, mógł Faraday zadośćuczynić swym upodobaniom artystycznym. Można powiedzieć, że żadna ze sztuk nie była mu obca; najbardziej może pociągała go poezja i muzyka. Z malarstwem zetknął się w osobie słynnego malarza angielskiego, Józefa Turnera, który, będąc, podobnie jak Faraday synem ubogich rodziców, wybił się niepospolitym talentem i wytrwałą pracą na naczelne w malarstwie angielskim stanowisko. Dziwnym zbiegiem okoliczności w tym samym czasie, na który przypadają wielkie odkrycia Faradaya w dziedzinie światła i magnetyzmu, powstało arcydzieło malarstwa angielskiego, obraz Turnera „Deszcz, światło i ruch“, będący uwidocznieniem żywio-

1) Dane biograficzne są, po większej części, wzięte z tłumaczenia francuskiego książki Ostwalda: „Les grands hommes“. E. Flammarion, Paris.

lowych sił przyrody, których badaniu poświęcił swe życie Faraday.

Ten świat nauki i sztuki, w którym się zamknął, całkowicie wystarczał Faradayowi. Zaszczyty go nie nęciły. Moc wewnętrzną czerpał z głębokiego uczucia religijnego, któremu przez całe swe życie pozostał wierny.

Wzrastający upadek sił małe początkowo zmiany wprowadził do tego tak pełnego harmonii i spokoju życia. Praca, co prawda, posuwała się coraz to wolniej, coraz częściej trzeba było ją przerywać, ale mimo to do dawnych wyników przybywały nowe, bynajmniej nie świadczące o tym, aby ten świetny umysł uległ jakiemu osłabieniu. W 1851 i 1852 r. ukazały się ostatnie serie „badań doświadczalnych“. Zawierały one jakby syntezę wszystkich poprzednich prac Faradaya. Pojęcie linii sił, którym już w pierwszych swych pracach posługiwał się Faraday, jest tu zastosowane do wyjaśnienia większości zjawisk magnetycznych. Wychodząc z jednego bieguna magnesu, biegną linie sił do drugiego różnoimiennego, tworząc wskutek wzajemnych odpychań bocznych linie na ogół krzywe. Umieszczenie w polu magnetycznym ciała paramagnetycznego, jaką to nazwą Faraday oznacza wszystkie ciała magnetyczne, nie wyłączając żelaza, powoduje zagęszczenie linii sił w obrębie danego ciała, to zaś znowu wywołuje zmniejszenie się gęstości linii sił w pozostałej części pola i co za tym idzie, zmniejszenie w tej części pola działania magnetycznego.

Odwrotne zjawisko powstaje przy umieszczeniu w polu ciała diamagnetycznego: linie sił w obrębie tego ciała stają się rzadsze, w pozostałej zaś części pola gęstość ich wzrasta. Każdej zmianie gęstości linii sił towarzyszy powstanie biegunowości magnetycznej w ciele, które tę zmianę wywołało. Zgęszczenie daje początek biegunowi południowemu od strony, zwróconej ku biegunowi północnemu magnesu, wzbudza-jącego pole, rozrzedzenie — biegunowi północnemu. Ten prosty obraz zjawisk stał się punktem wyjścia dla ogłoszonej w r. 1856 pracy Maxwella „o Faradayowskich liniach sił“, stanowiącej do dziś podwalinę wszelkich teoryj pola elektrycznego i magnetycznego.

Ostatnia z ogłoszonych drukiem prac uka-zała się w 1857 r. pt. „Badania doświadczalne nad stosunkiem złota (i innych metali) do światła“. „Przez całe lato, pisał Faraday do jednego ze swych przyjaciół, zajmowałem się złotem, nie miałem dostatecznie silnej głowy, aby się oddać cięższym rzeczom. Praca ta jest jakby bajeczką o górze i o myszy i gdy ją ogłoszę, a wpadnie Panu w ręce, powie Pan o niej to samo“. Sąd ten, wypływający z wielkiej skromności Faradaya, należy uznać za przesadnie surowy. Praca ta bowiem, mająca na celu zbada-nie „zmian, jakie wprowadzają do promienia świetlnego cząstki, posiadające dużą siłę działa-nia na światło“, zawiera opis wielu ciekawych zjawisk, z których jedno okazało się później bar-dzo ważnym narzędziem badania fizycznego.

Zjawisko to zaobserwował Faraday przy przechodzeniu światła przez tzw. koloidalny roztwór złota¹⁾. W roztworze tego typu ciała rozpuszczone nie rozpadają się tak jak w zwykłych roztworach na drobiny lub jony, lecz tworzą skupienia o rozmiarach wielokrotnie większych od drobinowych, tak że często badanie przez mikroskop lub ultramikroskop pozwala wykryć ich obecność, co jest zupełną niemożliwością w przypadku roztworów zwykłych. Takie roztwory koloidalne, przygotowane przez Faradaya, „miały pod każdym względem wygląd roztworów. Roztworami jednak nie były, gdyż w rzeczywistości zawierały złoto nie rozpuszczone, lecz podzielone na bardzo drobne części. Obecność tych cząstek może być łatwo uwidoczniiona, gdy promienie słońca (lub lampy) są zebrane przez soczewkę w stożek i jedna część tego stożka, leżąca blisko ogniska, przechodzi przez ciecz; stożek staje się widzialny i chociaż nie można rozróżnić oświetlonych cząstek, to jednak światło odbite ma na ogół cechy światła, odbitego od złota“. To zjawisko, zbadane w 1869 roku dokładnie przez Tyndalla i noszące dzisiaj nazwę zjawiska Tyndalla, stało się jednym z dokładniejszych sposobów wykrywania cząstek, zawieszonych w cieczy lub gazie.

Badania naukowe nie wyczerpywały całkowicie działalności Faradaya. Poza licznymi

¹⁾ Nazwę tę później wprowadził Graham.

odczytami, których wzór stanowią znane polskiemu czytelnikowi „Dzieje świecy“, poza popularnymi artykułami i rozprawami, nie przestawał do końca życia zajmować się sprawami towarzystwa, utworzonego dla obsługi latarni morskich i być jego naukowym doradcą. Pracę tę, rozpoczętą w 1836 r., uważał Faraday za swój obowiązek: udoskonalenie latarni morskich i zapobieżenie w ten sposób ofiarom w ludziach było według Faradaya celem tak ważnym, że warto było dla niego poświęcić czas i resztki sił. Nie szczędził też ani swej wiedzy ani swego zdrowia: siedemdziesięcioletni starzec nie uchylił się od długich i męczących podróży dla sprawdzenia skuteczności różnych rodzajów oświetlenia.

Sił jednak było coraz mniej. Helmholtz, który odwiedził go po raz pierwszy w 1853 r., stwierdził z przerażeniem w rok później za drugą swoją bytnością, jak ten wielki człowiek „prosty i uprzejmy jak dziecko“, o „chwytającym za serce sposobie zachowania się“ zstarzał się w ciągu roku. Potężny jednak umysł nie poddawał się nieubłaganemu czasowi; zdawało się, jakby Faraday chciał go do ostatka wyczerpać i zużyć. W 1858 r. przedstawia Królewskiemu Towarzystwu pracę „o przemianie grawitacji w inne siły, zwłaszcza elektryczność“, pracę, której drukowania odradził mu znakomity uczony angielski Stokes ze względu na jej negatywne wyniki: w 1861 r. wraca do zagadnienia, które go w 1845 r. okryło sławą

— związku między magnetyzmem i światłem. Chce ustalić, czy pole magnetyczne wywiera jakiś wpływ na barwę wysyłanego przez dane ciało światła, na jego częstość drgań. Zagadnienia tego, które później z takim powodzeniem opracowuje Zeemann, nie udaje się Faradayowi rozwiązać. Sił do ułożenia nowego planu doświadczenia już nie ma. Pamięć słabnie do tego stopnia, że Faraday zapomina prawideł pisowni. Życie powoli gaśnie. Myśl przenikliwa, budująca teorie, „które coraz bardziej zbliżały się do prawdy natury“, aby „kiedyś zespolić się z nią całkowicie“, nie jest już w stanie pracować.

Umarł w dniu 26 sierpnia 1867 roku.

41.08193



Spis nazwisk

- Abbott 11
Aepinus 106
Ampère A. 29, 30, 31, 32,
33, 35, 38, 39, 42, 48,
146
Andrews T. 18
Arago 28, 29, 30, 43, 46,
136
Argand 132
Arrhenius S. 65
- Bancalari 144, 145
Banks J. 8
Bartholinus E. 127
Becquerel E. 147, 148
Becquerel H. 135, 147,
148,
Beddoes 10
Biot 76, 136
Bohr 99
Bonaparte Napoleon 68,
120
Boscovich 105
Boyle 17
Braude 21
Brugmanns 148
Buff 90
- Cailletet 19
Canton 100
Carlisle 64
Carnot Sadii 71
Cavendish 106
Cicero 35
- Clouet 15
Cooke 8
Coulomb 23, 53, 104, 108,
117
Crookes W. 120
Curie M. 120
Curie P. 120
- Dance 8
Davy H. 7, 8, 10, 11, 12,
21, 72, 75, 90, 126
Dewar 20
Dumas J. 28.
- Esmarch 28
- Faraday M. 6, 7, 8, 9,
10, 11, 12, 15, 16, 17, 18,
19, 20, 21, 22, 32, 33, 35,
36, 37, 39, 41, 42, 43, 44,
47, 50, 51, 53, 55, 56, 58,
59, 60, 61, 63, 64, 72, 74,
75, 76, 77, 78, 81, 82, 83,
84, 85, 86, 87, 89, 90, 92,
93, 94, 95, 96, 99, 100,
101, 102, 103, 106, 107,
108, 109, 110, 111, 112,
113, 114, 115, 116, 117,
118, 119, 120, 121, 122,
123, 124, 125, 126, 127,
132, 133, 134, 135, 136,
137, 138, 139, 140, 141,
142, 143, 144, 146, 147,
148, 149, 150, 151, 152,
153, 154, 155, 156,

- Galvani A. 6, 24, 26
 Gauss 25, 106
 Gay-Lussac 13, 14
 Graham 153
 Green 23
 Grotthus Ch. 65, 66, 67,
 75
 Helmholtz H. 6, 60, 90,
 127, 144, 155
 Huyghens 127, 128, 129
 Joule 60, 127
 Kammerlingh Onnes 20
 Keesom 20
 Kossel 99
 Krzyżanowski J. K. 27
 Kundt 135, 138
 Langmuir 99
 Laplace 23, 35, 104, 105,
 106
 Le Baillif 149
 Le Sage 105
 de Luc 71
 Malus S. L. 129, 130, 131
 Monge 15
 Marcet 9
 Mariotte 17
 van Marum 15
 Mayer 60, 127
 Maxwell J. C. 51, 56, 115,
 119, 153
 Mendelejew 18
 Morichini 126
 Natterer 16
 Nernst 94
 Newton 104, 105, 129, 131
 Nicholson 64
 Nicol 131
 Oersted H. Ch. 27, 28,
 29, 30, 31, 35, 48, 97
 Ohm J. 55, 62
 Olszewski K. 19
 Ostwald 94
 Peltier 97
 Perrin J. 120
 Pictet 19, 28
 Plücker 148
 Poisson 106
 Prévost 28
 Ramsay 19
 Regnault 18
 de la Rive 28, 29, 32, 33,
 76, 90
 de la Roche 10
 Röntgen 135
 Rumford hr. 7
 Ruthedford 120
 de Saussure 28
 Seebeck 97
 Skrodzki J. K. 126
 Stokes 155
 Thilorier 16
 Thomson J. J. 120
 Turner J. 151
 Tyndall 154
 Volta A. 6, 25, 26, 27, 33,
 34, 42, 55, 64, 67, 68,
 69, 70, 71, 95, 96
 Wollaston 21, 35
 Wróblewski W. 19
 Zamboni 71, 73
 Zantedeschi 144
 Zeemann 156

SPIS RZECZY

Dzieciństwo i młodość	5
Prace nad skraplaniem gazów	13
Powołanie Faradaya na członka Królewskiego towarzystwa	20
Ówczesny stan nauki o elektryczności i ma- gnetyzmie	23
Pierwsze prace Faradaya z dziedziny elektro- magnetyzmu	32
Odkrycie indukcji elektromagnetycznej	35
Stwierdzenie istnienia indukcji własnej	51
Badania chemicznych działań prądu	64
Znaczenie indukcji elektrostatycznej w zjawis- kach elektrycznych	99
Odrzucenie teorii działania na odległość	103
Badanie wpływu środowiska na działania elektryczne	106
Dalsze rozwinięcie teorii	115
Badanie rozbrojenia w gazach	120
Próby ogólnej teorii elektryczności i magne- tyzmu	123
Odkrycie skręcenia płaszczyzny polaryzacji pod działaniem pola magnetycznego	126
Dalsze badanie magnetycznych własności ciał	138
Ostatnie lata	149
Spis nazwisk	157

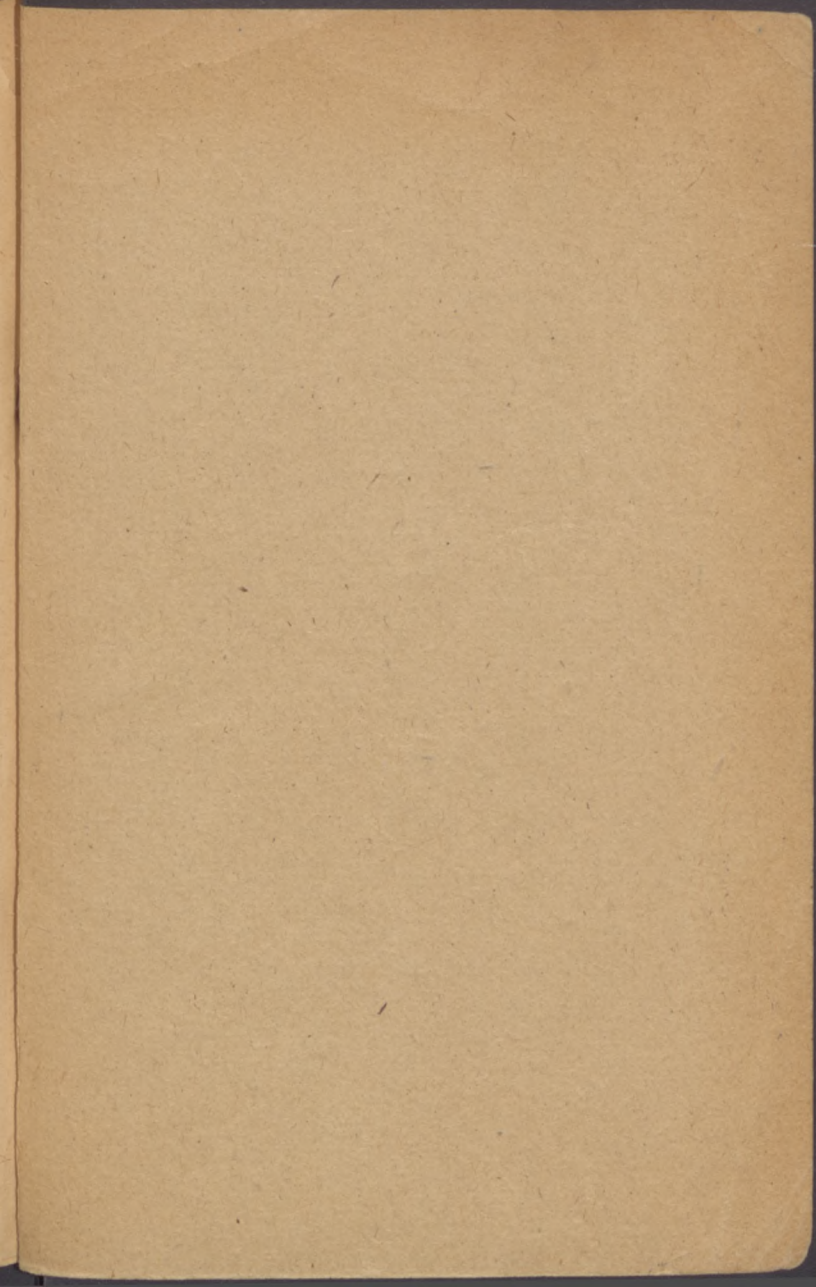
257-

Biblioteka Główna UMK



300051749591





Biblioteka
Główna
UMK Toruń

1420850

Biblioteka Główna UMI



300051749591

