

❁ BIBLIOTEKA PRZEMYSŁOWA ❁

ZASADY MAGNETYZMU I ELEKTRYCZNOŚCI

WYŁOŻONE DLA UCZNIÓW ELEKTROTECHNIKI

przez

Andrzeja Jamiesona,

Profesora Kolegium Technicznego m. Glasgowa i Szkocyi Zachodniej,
członka Instytutu Inżynierów Elektryków etc.

UZUPEŁNIONE NASTĘPNIE PRZEZ

Dr. I. Kollerta

Profesora Szkoły Technicznej w Chemnitz

Przełożył z uwzględnieniem 3-go wydania angielskiego

St. Stetkiewicz.

Mat.-Fiz.

I TOMACH

rami w tekście.

II-gi.

awie Rs. 1 kop. 10.

SZAWA
TA WAWELBERGA.

A. WIZBEKA, ul. Szpitalna 5.

1897.

17926
B.P im. Ł.

1000072379



ZASADY
MAGNETYZMU i ELEKTRYCZNOŚCI

604



Druk Tow. Komand. St. J. Zaleski & Co., ulica Złota Nr. 3.

144687

BIBLIOTEKA PRZEMYSŁOWA.

ZASADY MAGNETYZMU i ELEKTRYCZNOŚCI

WYŁOŻONE DLA UCZNIÓW ELEKTROTECHNIKI

PRZEZ

Andrzeja Jamiesona

Profesora Kolegium Technicznego m. Glasgow i Szkocyi Zachodniej,
członka Instytutu Inżynierów Elektryków etc.

UZUPEŁNIONE NASTĘPNIE PRZEZ

Dr. I. Kollerta

Profesora Szkoły Technicznej w Chemnitz.

Przełożył z uwzględnieniem 3-go wydania angielskiego

St. Stetkiewicz

Kandydat Nauk Mat.-Fiz.

w dwóch tomach

z licznymi figurami w tekście.

Tom II.



WARSZAWA

NAKŁADEM HIPOLITA WAWELBERGA.

1898

ДОЗВОЛЕНО ЦЕНЗУРОЮ
Варшава, Октября 2 дня 1897 года.



324092

537/538 : 621.3

12

CZĘŚĆ II.

Elektromagnetyzm.

Ciąg dalszy.

W Y K Ł A D XX.

Treść: Dane historyczne dotyczące odkryć Galwaniego i Volty etc. — Stos Volty. — Pochodzenie nazw woltaż i volt etc. — Proste ogniwo voltaiczne, tudzież jego chemiczne działanie. — Polaryzacya. — Działanie miejscowe. — Amalgamowanie blach cynkowych. — Ogniwo Daniell'a, tudzież jego działanie chemiczne. — Określenie spadku potencyału w ogniwie, oraz mierzenie jego oporu wewnętrznego. — Rozmaite formy ogniwa Daniell'a; ogniwa Grove'go i Bunsen'a, tudzież ich działanie chemiczne. — Pytania.

Dane historyczne dotyczące odkryć Galwaniego, Volty etc.
Okolo r. 1790, Galvani, profesor anatomii na uniwersytecie Bolońskim we Włoszech, podczas doświadczeń w pracowni swojej z maszyną elektryczną opartą na tarcu zauważył, iż żaby, świeżo obdarte ze skóry i położone na stole w pobliżu tej maszyny, wpadały w drganie konwulsyjne, skoro tylko maszyna działała. To samo działanie wkrótce potem dostrzegł on na kilku żabach nieżywych, przyczepionych na hakach miedzianych do balkonu żelaznego zawsze gdy wiatr uderzał ich uda o żelazo. Z doświadczeń tych, powtórzonych następnie, wysnuł on wniosek, iż w miejscach zetknięcia nerwów i mięśni żaby zachodzi rozdział dwu elektryczności (+ i —), przyczem nerwy elek-

tryzują się dodatnio, mięśnie odjemnie, ruchy zaś konwulsyjne pochodziły ztąd, iż dwie elektryczności łączyły się za pośrednictwem haka metalowego i balkonu żelaznego.

Okolo r. 1800 Volta, profesor fizyki na uniwersytecie w Pawii (Włochy), zbadał to działanie jeszcze staranniej i udowodnił zapomocą delikatnych elektroskopów

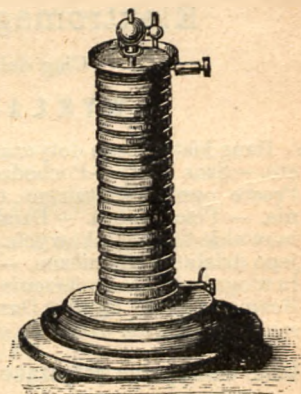
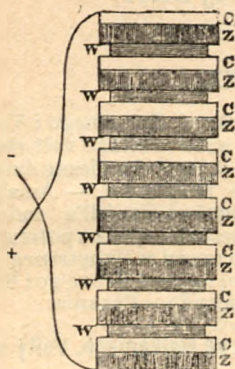


Fig. 93. Stos Volty. Fig. 194. Stos Volty, tak jak się robi obecnie, z końcówkami

kondensatorów*), że siedliskiem energii elektrycznej jest miejsce zetknięcia dwu niejednakowych metali (miedzi i żelaza), mięśnie zaś i nerwy żaby służyły poprostu do uzupełnienia obwodu i, kurcząc się, ujawniały istnienie siły.

*) Przyrząd ten i jego działanie będą opisane później, skoro przejdziemy do elektrostatyki albo elektryczności przez tarcie, tymczasem przypatrzymy się tylko figurze 195 (str. 7, przedstawiającej ten przyrząd.

Wykonał on dalej szereg doświadczeń i nareszcie zbudował znany swój stos voltaiczny. Z figur 193 i 194 widzimy, iż stos ów składał się z krążków miedzianych C i cynkowych Z, przełożonych wilgotnemi krążkami sukna lub bibuły, napojonemi słoną wodą; przytem zadanie sukna wilgotnego polegało, według pojęć Volty, wyłącznie na przewodzeniu, tudzież na zapobieganiu zetknięciu pomiędzy każdą parą płytek miedzianych i cynkowych a parą sąsiednią.

Stos ten, złożony ze znacznej liczby par krążków utworzonych z metali niejednakowych, w połączeniu z elektroskopem—kondensatorem, w owym czasie budził ogromne zajęcie w kołach naukowych.

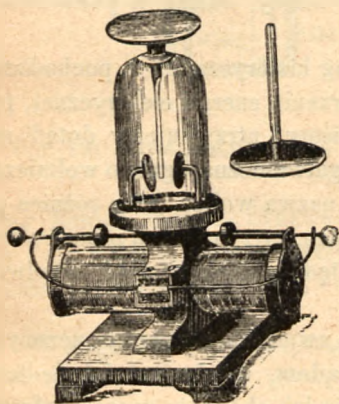


Fig. 195. Poziomy suchy stos Volty o ruchomych biegunach wraz z elektroskopem-kondensatorem.

Dalej Volta odkrył, że wrazie prostego zlutowania dwu sztab z metali rozmaitych, stosownie do tego, którą z nich zetkniemy z elektroskopem-kondensatorem, przyrząd wskazywał wolny ładunek dodatni lub odjemny.

Następne odkrycie Volty zasadzało się na tem, iż zetknięcie bezpośrednie nie było koniecznem dla par metali i lepsze nawet wy-

niki dawały się osiągnąć przez trzymanie ich obok sie-

bie w naczyniu, zawierającym cokolwiek plynu ekscytującego, np. kwasu roscieńczonego. Ztąd powstało proste ogniwo (element) woltaiczne, przedstawione na następnej fig. 196. Jeszcze w czterdzieści blisko lat po odkryciach Volty faktyczne zetknięcie ciał niejednakowych lub za pośrednictwem ośrodka przewodniego uważane było za siedlisko siły elektromotorycznej w ogniwie, czyli za przyczynę prądu. Później na skutek poszukiwań Faraday'a i innych powstała nowa szkoła, która oświadczyła się za teorią chemiczną, utrzymującą, iż sprawa chemiczna, zachodząca w ogniwie nie tylko wytwarza siłę elektromotoryczną ale ją podsyca i przyczyną jest ciągłego prądu. Obecnie sądzimy powszechnie, iż zetknięcie (kontakt) i działanie chemiczne pospół biorą ważny udział w powstawaniu prądu elektrycznego.

Z tych krótkich uwag historycznych o pochodzeniu chemicznej metody wytwarzania energii elektrycznej, pojmujecie, dlaczego przyjęliśmy i utrzymujemy dotąd rozmaite nazwy, jak bateria galwaniczna, ogniwo woltaiczne, galwanizm, z kąd powstała nazwa voltaż (albo różnica potencjału, wyrażona w voltach, utrzymywana przez baterię lub dynamomaszynę pomiędzy dwoma jakimikolwiek punktami przewodnika).

Przyzwyczajiliśmy się uwieczniać sławnych uczonych, imiona ich nadając przyrządom, działaniom lub jednostkom miar, których odkrycie lub zbadanie w czemkolwiek bądź przyczyniło się do znacznego pomnożenia naszej znajomości zastosowań, zjawisk i prawd. Taką drogą nadano nazwę amper jednostce praktycznej prądu, volt jednostce siły elektromotorycznej i om jednostce oporu.

Proste ogniwo voltaiczne. Jeżeli w naczyniu szklanym lub z gliny polewanej, zawierającym roztwór kwasu siarczanego w stosunku 1 cz. kwasu: 10 cz. wody, zanurzymy dwie blachy — jedną z czystego cynku (Zn) i drugą z miedzi czystej (Cu), tedy nie widzimy żadnej zmiany ani w kwasie ani na płytach. Jednakże bardzo czułym elektrometrem*) wykryć możemy, iż wolny koniec bieguna miedzianego ładuje się elektrycznością dodatnią (+), zaś

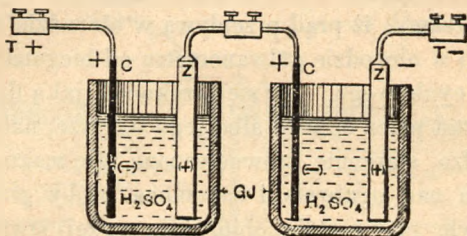


Fig. 196. Dwa proste ogniwa voltaiczne w połączeniu szeregowem**).

wolny koniec bieguna cynkowego elektrycznością ujemną (—) a dalej, że pomiędzy temi punktami istnieje określona różnica potencjału. Ogniwo takie może dawać

*) *Elektrometr* jestto przyrząd do mierzenia różnic potencjału elektrostatycznego pomiędzy dwoma jakimikolwiek punktami.

**) Powiadamy, iż ogniwa połączone są *w szereg* (series), tworząc baterję, kiedy końcówka dodatnia albo biegun jednego ogniwa łączy się z ujemną najbliższego i t. d. W ogólności części obwodu stanowią *szereg* (series), gdy prąd przebiega przez nie po kolei.

ciągły prąd elektryczny, bo gdy tylko połączycie końce biegunów miedzianego i cynkowego za pośrednictwem galwanometru, postrzegacie *stałe* odchylenie igły w jedną stronę — co dowodzi, iż prąd przebiega po obwodzie zewnętrznym. Odtąd przyzwyczajono się uważać, iż prąd kieruje się jakby od końca dodatniego do ujemnego czyli od potencjału wyższego do niższego (zupełnie jakbyśmy patrzyli na przepływ ciepła od punktu o temperaturze wyższej do punktu o temperaturze niższej); odpowiednio przypuszczamy, iż prąd przepływa w obwodzie zewnętrznym albo w obwodzie galwanometru od bieguna miedzianego do cynkowego. By się przekonać, jaką drogą przepływa prąd przez ogniwo albo jego wnętrze, należy umieścić bardzo starannie zrównoważoną igłę magnesową tuż pod albo nad ogniwem i zapomocą próby prawej ręki (która tyle razy została objaśniona wyżej) stwierdzić, iż prąd porusza się od blachy miedzianej do cynkowej i w odwrotnym kierunku na zewnątrz ogniwa. Jeżeli obwód będzie zamknięty na czas dostatecznie długi, prąd stawać się będzie coraz słabszy i blacha cynkowa, po wyjęciu, będzie mocno zniszczoną, nagryzioną lub spaloną skutkiem tego, iż cynk łączy się z pewną częścią składową kwasu siarczanego, dając siarczan cynku (Zn SO_4).

Polaryzacja. W krótkie, po zamknięciu prądu, postrzegamy na płytce miedzianej zbierające się i wznoszące się pęcherzyki gazu (które po zebraniu i zbadaniu okazują się czystym wodorem). Innemi słowy ogniwo *polaryzuje się**).

*) Tak użytej nazwy tej nie należy mieszać z *biegunowością* (*polarnością*) magnezu (patrz określenie tej ostatniej na

Półki ogniwo służy, jest ono małym piecem chemicznym, w którym spalamy cynk w celu wytworzenia prądu; ale ponieważ różnica potencjału nie jest tu stałą, więc forma ta nie bywa stosowana w praktyce elektrycznej, jakoto w telegrafii, telefonii i dzwonekach elektrycznych. Wszelako wielce pożytecznym nabytkiem jest ona w szkole i pracowni, gdyż w kilka minut daje się złożyć; posługują się też nią jako stopniem przejściowym do wy-

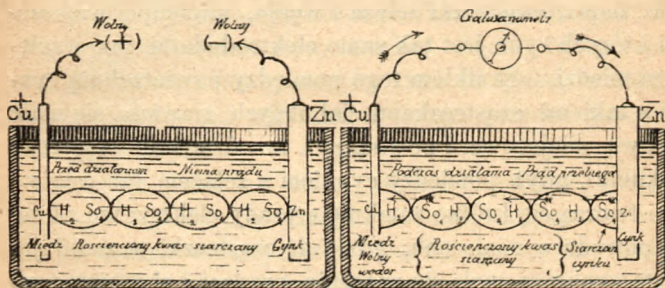


Fig. 197. Proste ogniwo voltaiczne, z okazaniem części składowych, oraz działania chemicznego, gdy obwód się zamyka.

(Pełne owale oznaczają cząsteczki roscieńczonego kwasu siarczanego).

tłumaczenia bardziej złożonych zjawisk chemicznych w innych ogniwach. Pragnęlibyśmy, by czytelnik zwrócił

str. 26, cz. I). W wypadku niniejszym znaczy to poprostu, iż skutkiem osadzania się wodoru na płycie miedzianej zmniejszyła się różnica potencjału pomiędzy *biegunami* dwóch blaszek, nie tylko z powodu zmniejszenia się powierzchni działającej ale i dlatego, że wodór posiada biegunowość elektryczną znaku przeciwnego, czyli potencjał wyższy wobec cynku, dąży więc do wysyłania od siebie w ogniwie prądu wbrew kierunkowi naturalnemu od cynku do miedzi.

szczególłą uwagę na zmiany chemiczne zachodzące w ogniwie, które dokładnie wyjaśnia fig. 197, i zapamiętał je sobie.

Działanie miejscowe*). Powstaje atoli jeszcze jedna przeszkoda, nie pozwalająca stosować tego ogniwa (w istocie wszystkich ogniw, do których wchodzi cynk), jest nią trudność otrzymania cynku *czystego*. Jeżeli użyjemy zwykłego cynku handlowego, tedy zawiera on liczne domieszki, naprz. cząsteczki żelaza i węgla, względem większości których cynk jest tak samo elektrododatni jak względem miedzi. Skutkiem tego pomiędzy powierzchnią cynku a takimi cząsteczkami ciał obcych zjawiają się małe ogniwka miejscowe, i powodują t. zw. działanie *miejscowe* (lokalne), gdyż pomiędzy cynkiem a żelazem lub węglem etc. tworzą się krótko zamknięte prądy elektryczne. Z tego powodu w miejscach, gdzie się cząsteczki te znajdują, płyta cynkowa spala się znacznie prędzej i skutkiem tego zdolność jej wytwarzania prądu do pracy zewnętrznej użytecznej słabnie.

Amalgamowanie blach cynkowych. Zwykły sposób zapobieżenia temu miejscowemu działaniu i nieodłącznemu marnowaniu cynku, polega na pokryciu rtęcią blachy cynkowej, przed jej użyciem. Dokonywa się tego przez zanu-

*) Działanie *miejscowe* często się wszczyna skutkiem niedostatecznej jednolitości w budowie płyt elektrododatnich, to się znaczy, iż w płycie cynkowej mogą się zdarzyć części twardsze i miększe, z których jedno z natury rzeczy posiadają potencjał wyższy od innych. Z tego powodu baczyć należy troskliwie, aby *dobrze* płytki nie tylko wolne były od wszelkich obcych domieszek, ale również posiadały jednolitą budowę.

rzenie cynku na kilka minut w rozcieńczonym kwasie siarczanym lub solnym w celu oczyszczenia jego powierzchni a potem przez włożenie do miski z rtęcią i odrobiną kwasu i wcieranie rtęci w cynk szczoteczką o długiej rękojeści albo suknem, przywiązaniem do kawałka drzewa; w każdym jednak razie nie wciera się palcami, gdyż rtęć jest dla ciała ludzkiego szkodliwą. W ten sposób wytwarza się powierzchnia czysta, jednorodna i pod względem budowy jednakowa. Czynność ta powinna się powtarzać zawsze, gdy rtęć zejdzie z powierzchni. Podług innego sposobu dolewa się kilka procentów rtęci do *cynku*, w stanie rostopionym i przed odlaniem w formy, przeznaczone do kształtowania płyt. *)

Ogniwo Daniell'a. Setki patentów pobrano na sposoby zapobiegania polaryzacji i na korzystniejsze wytwarzanie energii elektrycznej wzamian za cynk zużyty w ogniwach. Skrępowani miejscem i czasem, możemy tutaj zastanowić się zaledwie nad kilku lepiej znanymi lub częściej napotykanymi ogniwami, pomijając wiele innych równie dobrych, a może lepszych, ale pod względem budowy i działania bardzo skomplikowanych. Z przyrządów pomienionych przedewszystkiem zasługuje na uwagę ogniwo Daniell'a (1836) oraz jego liczne odmiany (stanowiące obszerny dział ogniw *stałych*).

Najprostsza forma tego ogniwa (fig. 199) składa się z naczynia szklanego lub kamiennego, w ogólności jednak nieprzepuszczalnego dla wody i nie dającego się nagryzać

*) Patrz „The Electrician” grudzień d. 27, 1889, str. 185, przepis Smith'a o amalgamowaniu płyt do akumulatorów.



kwasowi. Dwie blachy, cynkowa i miedziana, odpowiednio, tworzą metale elektrododatni i elektrodjemny ogniwa. Pomiędzy nimi mieści się przegroda porowata albo przedział, najprędzej z glinki niewypalanej (t. zw. pianka. Uw. tł.), czasami z grubej tektury lub papieru. Od strony cynku znajduje się rościeńczony kwas siarczany (H_2SO_4) lub też roztwór siarczany cynku ($ZnSO_4$) albo nawet sama woda, jeżeli ogniwo nie zaraz ma być użyte; od strony miedzi mamy siarczan miedzi ($CuSO_4$), rozpuszczony w czy-

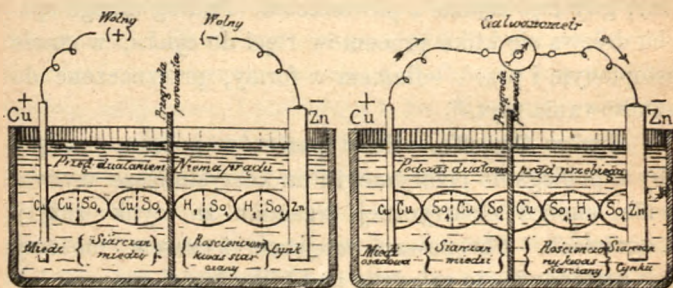


Fig 198. Ogniwo Daniell'a z okazaniem części składowych, oraz działania chemicznego gdy obwód został zamknięty.

stej wodzie z dodatkiem nieco kryształów siarczany miedzi (koperwas niebieski) a to z racji następującej. Gdy obwód jest otwarty, na biegunie miedzianym znajduje się swobodny ładunek (+), na cynkowym swobodny (—), lecz żadna zmiana na blachach cynkowych i miedzianych nie zachodzi, jeżeli tylko są one doskonale czyste. Pomimo to niewątpliwie pomiędzy kwasem siarczanym a roztworem koperwasu miedzianego zachodzi endosmoza i egzosmoza,

czyli powolne przesiąkanie i mieszanie się, pod wpływem dyfuzji przez naczynie porowate.

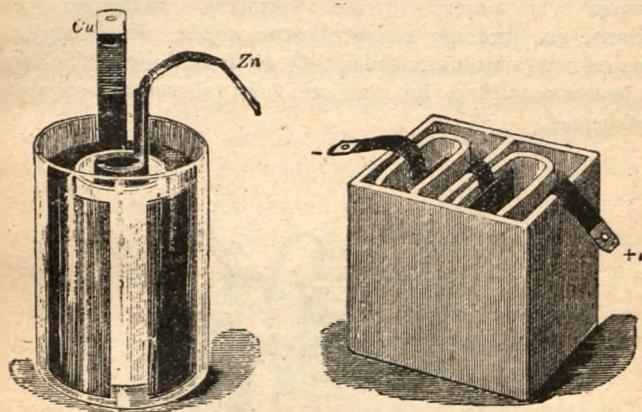


Fig. 199. Ogniwu Daniell'a. Fig. 200.

Sól miedziana, zwłaszcza gdy ogniwo jest nieczynne, przedostaje się przez piankę do cylindra cynkowego. Miedź osadza się wtedy na cynku, utlenia się zazwyczaj i jako czarny nalot tlenku miedzi (CuO) pokrywa powierzchnię cynku. Jednocześnie pod wpływem działania miejscowego zachodzi obfite wydzielanie się wodoru. Zjawiska te dobrze tłumaczy następujące doświadczenie*), które z łatwością każdy powtórzyć może. Epruwetkę (rurkę szklaną zatopioną w jednym końcu) napełniamy rościńczonym roztworem koperwasu miedzianego i ustawiamy odwróconą w naczyniu, zawierającym ten sam roztwór. Wprowadzamy teraz od spodu do epruwetki łaskę cynku. Zaczyna się powolne wytwarzanie gazu, połączone

*) Podług dzieła H. S. Carhart „Die Primär-Elemente” 1895, str. 40. Tłumacz.

z wypieraniem cieczy, która stopniowo a potem całkowicie w epruwetce traci barwę niebieską. Tlenek miedzi w postaci ciemnych kłaczków opada na dno naczynia i w końcu roztwór zawiera tylko siarczan cynku. Ostrożnie odwracając rurkę szklaną, gaz możemy zapalić: jestto wodór. Jeżeli użyjemy zgęszczonego siarczanu miedzi, tedy do tlenku miedzi przyłącza się jeszcze w większej lub mniejszej ilości gąbczasta masa miedzi metalicznej.

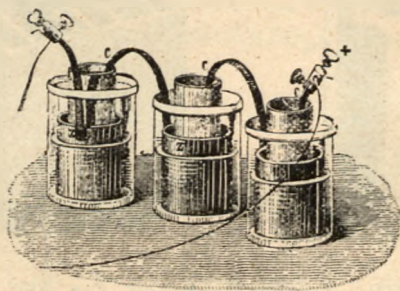


Fig. 201.

Wobec tego ogniwo nawet przez kilka dni nie może pozostawać bezczynnie, gdyż ciecz zanieczyszcza się a przez to osłabia się siła elektromotoryczna ogniwa. (Najlepiej jest rozebrać stos Daniell'a zaraz po użyciu, ciecze przelać do oddzielnych naczyń a piankę wstawić do wody. Przyp. tl.).

Skoro obwód został zamknięty, jak wskazuje figura 198 na prawo, cynk łączy się z (SO_4) kwasu siarczanego, tworząc siarczan cynku Zn SO_4 , dwa zaś atomy wodoru (H_2) wyzwala się. Wodór tedy przedostaje się przez przegrodę porowatą, ale zamiast zbierać się na płycie mie-

dzianej i wznosić się po jej powierzchni do góry, z siarczanem miedzi (Cu SO_4), a ponieważ posiada wyższe powinowactwo naturalne do (SO_4), niż miedź (Cu), przeto zastępuje ją w soli i tworzy kwas siarczany ($\text{H}_2 \text{SO}_4$), *rugując* miedź, która osadza się na płycie miedzianej. Owóż następstwem tego ciągłego rugowania *miedzi* z roztworu kopperwasu miedzianego wkrótce byłoby wyczerpanie roztworu, gdyby w miarę tego nie rospuszczały się kryształy siarczanu miedzi i w ten sposób roztwór ciągle i automatycznie się nie nasycił. Skład chemiczny i działanie dobrze ilustrują obie figury 198, nie widzimy więc potrzeby powtarzania ich tutaj. Ogniwu to, gdy utrzymywane jest w czystości i porządku, cechuje się pewną stałością t. j. siłą elektromotoryczną względnie jednostajną o wartości 1 volta*). Lecz jeżeli *opór* wewnętrzny ogniwa jest dużym skutkiem zagęstej przegrody, za dużego odstępu pomiędzy płytami lub zamałych płyt miedzianych i cynkowych, albo skutkiem nie dodania kryształów miedzi, które są nieodzowne dla należytej działalności ogniwa, i przez to wytworzenia się polaryzacji, wtedy, rzecz prosta, *różnica potencjału*, jaką możemy osiągnąć na końcówkach albo biegunach (+) i (—) ogniwa*) ulega zmniejszeniu.

*) Przeciętnie 1,079 v, jeżeli roztwór miedzi jest nasycony i kwas siarczany roscieńczony (1 : 4). Takie ogniwo w praktyce może uchodzić za jednostkę porównawczą, której użyć można do mierzenia innych stosów (Przyp. tł.).

*) **Określenie spadku potencjału w ogniwie, oraz jego oporu wewnętrznego.** Następujące proste doświadczenie powinno być wykonane przez nauczyciela wobec klasy albo przerobione przez uczniów, gdy pod ręką znajduje się pracownia, w celu unaocz-

Figura 200 wyobraża małą baterię Daniell'a (2 ogniwa) stosowaną do pracy laboratoryjnej, fig. 201 baterię z 3 ogniw, używaną na wykładach, fig. 207 t. zw. baterię Muirhead'a, złożoną z 10 ogniw Daniell'a, ustawionych parami w jednej skrzynce. Trzy figury 202 — 204 przedstawiają odmiany ogniwa Daniell'a, znane pod ogólną i naturalną nazwą *ogniw grawitacyjnych*.

nienia wszystkich pomienionych warunków spadku różnicy potencjału w ogniwie lub baterji.

1. Wziąć uporządkowane ogniwo Daniell'a. Połączyć je tak jak na fig. 198 z galwanometrem o *bardzo wysokim oporze* naprz. z voltmetrem lub galwanometrem Thomson'a (por. wykład XIII). W takim razie praktycznie ogniwo przedstawia obwód rozarty, gdyż tylko nadzwyczaj mały prąd przebiega przez nie i przez voltmetr. Z odchylenia sędzimy o *sile elektromotorycznej* ogniwa. Przypuśćmy że będzie nią $e = 1$ volt.

2. Włączyć teraz w obwód pomiędzy końcówkami baterji ammetr albo galwanometr o małym oporze i, w razie potrzeby, jeszcze nieco drutu oporowego, aż dostrzeżemy, iż ogniwo daje jakieś żądane natężenie prądu. Niechaj to będzie $i = 0,1$ ampera. W tym samym czasie należy powtórnie odczytać voltmetr; przypuśćmy, że siła elektromotoryczna $e_2 = 0,5$ volta; tym sposobem pomiędzy poprzednio zmierzoną, gdy ogniwo prawie nie dawało prądu, siłą elektromotoryczną E. M. S., a różnicą potencjału pomiędzy końcówkami R. P., gdy ogniwo jest czynne i daje prąd $= 0,1$ ampera, zachodzi spadek 50%.

Ponieważ e_1 jest siłą elektromotoryczną, zaś e_2 — różnicą potencjału, działającą *tylko* w obwodzie zewnętrznym, przeto $e_1 - e_2$ musi być *spadkiem potencjału* w samym ogniwie (jeżeli e_1 nie zmienia się w ogniwie czynnem; przypuszczenie to dla większości ogniw ma tylko wartość przybliżoną i dla żadnego stosu w ogóle nie jest ścisłem. Po największej części e_1 podczas działalności stosu słabnie; opór również jest wielkością, która

Ponieważ stosy te oprócz figur nie znalazły bliższego opisu w oryginale, przeto tłumacz uznał za właściwe uzupełnić ten dział opisem, o ile można treściwym, tych ogniów oraz kilku innych, całkowicie przez autora pominiętych a zasługujących ze wszech miar na uwagę.

Fig. 202 przedstawia odmianę stosu Daniell'a, która przez długi czas była w użyciu we Francyi po biurach telegraficznych



Fig. 202. Ogniw balon.

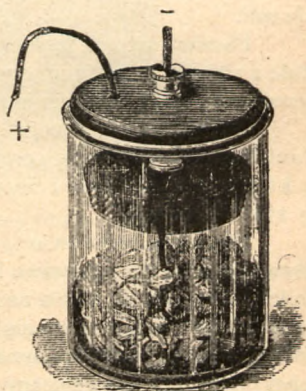


Fig. 203.

i dotąd jeszcze tu i owdzie się tuła z powodu swoich zalet, nadewszystko zaś trwałości. W naczyniu porowatym stoi balon szklany szyjką na dół, zawierający siarczan miedzi krystaliczny, w ilości około 1 kgr; balon przed odwróceniem powinien

przeważnie zmienia się wraz z natężeniem prądu. Z powodów wyłuszczonych sposób ten wcale nie może dawać wyników ścisłych. Atoli według prawa Ohma, które ustaliliśmy na ostatnim wykładzie, *opór jakiegokolwiek części obwodu prądu ró-*

być nalany wodą do pełna a potem zatkany korkiem, w którym przechodzi rurka szklana, albo, jeszcze lepiej, rurka kauczukowa. Przez rurkę tę dochodzącą do roztworu siarczanu miedzi w piance, nasycony roztwór soli z balonu na mocy ciężaru swojego opada i zastępuje wyczerpujący się roztwór w piance; ten ostatni, jako lżejszy, wznosi się i dostaje się do balonu, zasila się tutaj nanowo i znów opada i t. d.

Ponieważ naczynie szklane zamknięte jest pokrywką drewnianą, na której opiera się balon, przeto parowanie jest tu prawie uniemożliwione i stos zabezpieczony jest od wypelniania soli.

Pomimo swoich zalet ogniwo to dzisiaj wyrugowane zostało z użycia przez inne ogniwa, prostsze i tańsze, z których przedewszystkiem zasługuje na uwagę ogniwo Callaud'a.

Przyczyną znacznego oporu wewnętrznego w ogniwie Daniell'a jest naczynie porowate. Na fig. 205 widzimy stos, w którym pianki niema i ciecze warstwiają się poprostu na mocy swojego ciężaru.

Fig. 204 przedstawia typowy stos Callaud'a; jestto model używany przez towarzystwo kolei Orleańskiej. Część dolną cylindra szklanego wypełnia nasycony roztwór siarczanu miedzi, na który ostrożnie nalewa się wody zakwaszonej. (Można także nalać roztworu siarczanu cynku lub siarczanu magnezu). Pierścień miedziany, umieszczony na dnie naczynia, tworzy biegun

wna się ilorazowi różnicy potencjału pomiędzy końcami tej części przez natężenie prądu albo $r = \frac{e}{v}$. Ztąd opór wewnętrzny ogniwa $= \frac{e_1 - e_2}{i} = \frac{1 \text{ v} - 0,5 \text{ v}}{0,1 \text{ a}} = 5 \text{ omów}$. Należy zmieniać 1) rodzaj i grubość przegród; 2) odległość pomiędzy blachami; 3) wielkość części zanurzonych blach; 4) koncentrację roztworu miedzi i 5) natężenie prądu, wykonywując za każdym razem pomiary i obliczając wyniki tak, aby uczeń w każdym wypadku widział, jako nieuniknione działanie, zmniejszenie różnicy potencjału wytwarzanej przez ogniwo.

dodatni i łączy się z obwodem zewnętrznym zapomocą drutu miedzianego, izolowanego od wody zakwaszonej rurką szklaną. Pierścień cynkowy, zanurzony w tej wodzie, wisi na haczy-

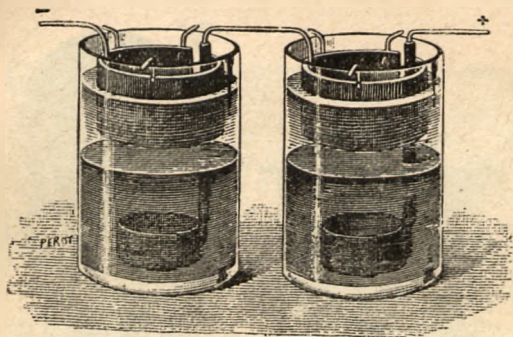


Fig. 204. Ogniwo Callaud'a.

kach, przyczepionych do brzegu naczynia. Siła elektromotoryczna = 0,98 do 1,02.

Do kategorii stosów grawitacyjnych należy także ogniwo Meidinger'a (fig. 205), używane przeważnie przez urzędy telegraficzne. Mamy tu dwa naczynia szklane, z których jedno, mniejsze, mieści się na dnie drugiego. W mniejszym naczyniu, do którego nalewa się roztworu kopersasu miedzianego, znajduje się pierścień miedziany albo lepiej, ołowiany, połączony z obwodem drutem miedzianym izolowanym powłoką kauczukową lub rurką szklaną. Naczynie zewnętrzne zawiera elektrodę odjemny, cynk, oparty na zwężeniu naczynia, oraz wodę zakwaszoną lub poprostu wodę albo, lepiej, roztwór soli gorzkiej ($Mg SO_4$). Oprócz tego w naczyniu tem wisi lej (albo balon) szklany, wypełniony kryształami siarczanu miedzi, którego otwór dolny sięgający do dolnego naczynia, zamknięty jest korkiem o wąskim bardzo otworze. Zupełnie tak, jak w pierwszym rodzaju stosów grawitacyjnych, następuje tu powolna dy-

fuzya cięższego gatunkowo koperwasu miedzanego i skutkiem tego nieprzerwane działanie trwające nieraz rok czasu bez odnawiania zapasu soli. Siła elektromotoryczna ogniwa tego dochodzi do 1,18 volta.

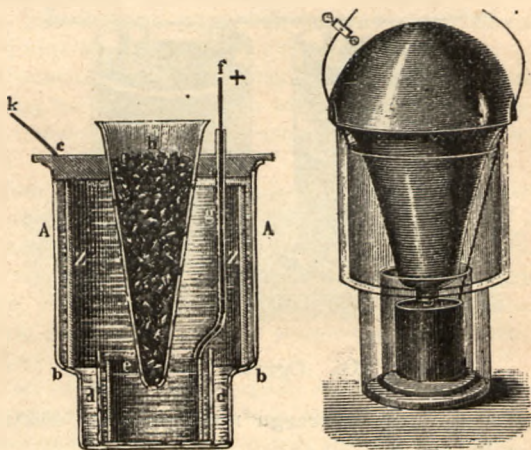


Fig. 205.

Fig. 206 przedstawia odmianę stosu Daniell'a zwaną ogni-

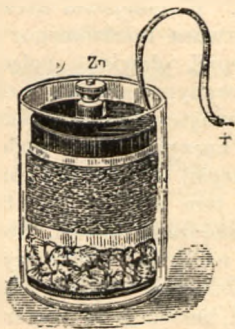


Fig. 206. Ogniwo Minotto.

wem Minotto stosowaną we Włoszech przez urzędy telegraficzne. Miedź ma tu postać krążka, niekiedy zastępowanego przez drut zwinięty w kształcie spiralnej, i leży na dnie naczynia; drut łączący ją z obwodem obwinięty jest gutaperką. Na elektrodzie tym kładzie się pewną ilość kryształów koperwasu miedzanego a na to dosyć grubą warstwę piasku rzeczno-go (krzemionkowego) koniecznie

pozbawionego wapna; na warstwie tej mieści się gruba płyta cynkowa, pokryta wodą. Kryształy siarczanu miedzi od warstwy piasku przedzielone są tekturą, płótnem lub bibułą. Zamiast piasku często biorą trociny drzewne. Trwałość tego ogniwa

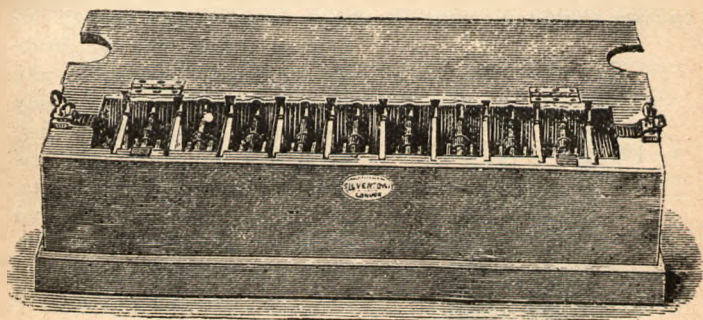


Fig. 207. Bateria Muirhead'a.

ma być bardzo znaczna, dochodząca do 3 lat pracy nieustającej. Opór jest bardzo duży, co zresztą wynika z całej budowy tego stosu, od 10 do 12 omów. Siła elektromotoryczna około 1 volta.

Ogniwo normalne Fleming'a. Wobec stałości ogniwa Daniell'a oddawna już chciano uczynić je *wzorcowem* (normalnem), t. j. uważać je za jednostkę siły elektromotorycznej przy pomiarach elektryczności. Badania jednak E. Kittler'a (r. 1882) dowiodły, iż zmiany koncentracji roztworów w ogniwie tym powodują już dość znaczne różnice w sile elektromotorycznej; zgodne wyniki otrzymują się jedynie przy użyciu metali, miedzi i cynku zupełnie czystych i wyłączeniu całkowitem pianki z ogniwa. Bardzo zadawalniające rezultaty otrzymujemy dopiero, gdy ciecze stykają się ze sobą na bardzo małej powierzchni (co naprz. osiągnąć się daje przez to, iż obie ciecze pozostają w oddzielnych naczyniach i łączą się ze sobą zapomocą lewarka

o końcach kapilarnych). Załączona fig. 208 przedstawia ogniwo normalne Daniell'a w tej formie, jaką mu nadał Fleming*).

Chcąc napęłnić ogniwo, nalewamy najpierw, przy zamkniętych wszystkich kurkach: do lewego lejka roztworu siarczanu cynku, do prawego roztworu siarczanu miedzi. Otwieramy lewy kurek górny i rurka w kształcie U wypełnia się roztworem siarczanu cynku. Wsadzamy teraz w lewą odnogę rur-

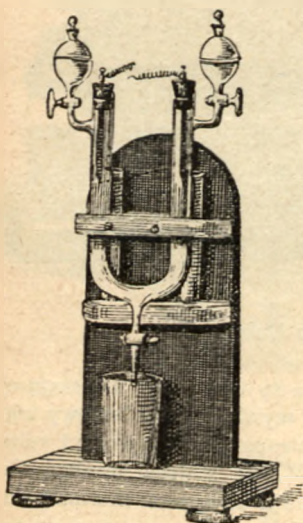


Fig. 208. Ogniwo Fleminga.

ki na korku kauczukowym sztabkę chemicznie czystego cynku amalgamowanego, zamykamy lewy kurek górny i otwieramy kurek dolny, jednocześnie zaś otwieramy prawy kurek górny. W ten sposób roztwór siarczanu miedzi wpada do prawej odnogi, w miarę tego, jak poziom roztworu siarczanu cynku obniża się. Przy właściwem postępowaniu powierzchnia rozdzielowa między obu roztworami zaznacza się ostro; gdyby zaś skutkiem dyfuzji rospływała się, tedy możemy doprowadzić ją zawsze do ostrości przez wpuszczenie świeżych roztworów z góry. Teraz zamykamy kurek dolny, wsadzamy w prawą odnogę rurki sztabkę miedzianą z chemicznie czystej miedzi, świeżo powleczonej warstwą miedzi elektrolitycznej, poczem ogniwo jest zupełnie gotowe do użytku. Gdy ogniwo się nie używa, obie sztabki metalowe spoczywają w rurkach widocznych na figurze i zawierających roztwory siarczanów tych me-

*) Fleming, Philosoph. Magaz. t. 20 (5) str. 126. 1885.

tali. Siła elektromotoryczna ogniwa Fleming'a zależy od stopnia koncentracji roztworów soli i od właściwości powierzchni elektrodów, cynku i miedzi: przyrost koncentracji roztworu siarczanu miedzi powiększa ją, roztworu siarczanu cynku zmniejsza; utlenienie powierzchni miedzi powiększa E. M. S., cynku zmniejsza ją. Oprócz tego, najmniejszy osad miedzi na cynku skutkiem dyfuzji roztworu miedzi w roztworze cynku obniża E. M. S. o 2 — 3%.

Przy zachowaniu wszelkich ostrożności i ciężarze właściwym obu roztworów 1,2, siła elektromotoryczna tego ogniwa według pomiarów Fleming'a i innych badaczy wynosi w temperaturze 18°—20° C. 1,104 v, przy c. wł. siarczaniu cynku 1,4 i c. wł. siarczaniu miedzi 1,1 siła elektromotoryczna wynosi 1,074 — 1,083 v*).

Ogniwo platyna—cynk albo Groveg'o. Na następnej fig. 209 mamy widok zewnętrzny ogniwa sir Williama Groveg'o, zaś na fig. 209-przecięcie pionowe tegoż ogniwa w powiększeniu. Blacha cynkowa Zn zgięta w kształcie U musi być starannie amalgamowana.

Zwykle mieści się ona w naczyniu ebonitowym EV o przekroju , do którego nalany jest kwas siarczany H_2SO_4 (5 do 6 cz. wody na 1 kwasu). We wnętrzu U mieści się porowate naczynie (PP lub V) mające kształt naczynia zewnętrznego. W naczyniu porowatym wisi cienki i szeroki płat folii platynowej Pt zanurzony w dymiącym kwasie saletrzanym. Ponieważ cynk jest względem platyny elektrododatni, przeto płyta cynkowa spala się stopniowo, tworząc siarczan cynku (co też widzieliśmy w wypadku ogniwa Daniell'a); wyzwala się przytem wodór, który przedostaje się przez naczynie porowate i w tym

*) Grunmach, Magn. u. elektr. Maasseinheiten u Messmethoden 305—306; E. Kittler, Handbuch der Elektrotechnik 1892 t. I str. 299—300.

natychmiast ulega związaniu przez kwas azotny jako środek mocno utleniający, dając wodę H_2O i czerwone dymy tleniku azotu NO_2 . Gaz ten nie przylega do folii platynowej, nie daje też z cynkiem powrotnej siły elektromotorycznej (jak to czyni wodór w razie prostego ogniwa woltaicznego), tak że ani opór, ani siła elektromotoryczna nie

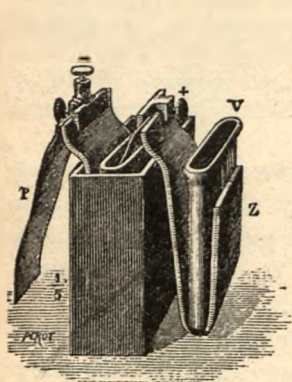


Fig. 209a. Widok zewnętrzny ogniwa Grovego, z okazaniem blach platynowej i cynkowej oraz naczynia porowatego w ogniwie następnem sprzężen-

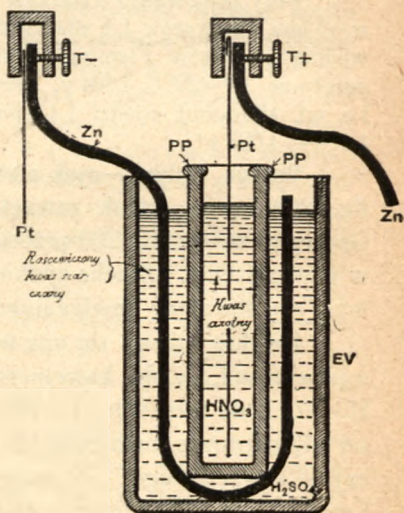


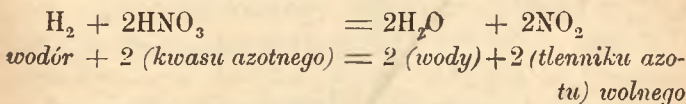
Fig. 209b. Pionowe przecięcie ogniwa Grove'go.

zmieniają się tu skutkiem wytwarzania tego gazu; koniecznem jest przytem dobrze wentylować miejsce (gdzie się stos ten znajduje) tak, aby dymy niszczaco oddziaływające na zdrowie badacza i powodujące mocne bóle głowy, mogły swobodnie i całkowicie uchodzić.

Działanie chemiczne od tej strony przegrody, gdzie się cynk znajduje, wyraża się w sposób następujący:



Działanie chemiczne od tej strony przegrody porowatej, gdzie się znajduje platyna, tak wygląda*)



Przed wprowadzeniem dynamaszyn i baterij wtórnych, albo akumulatorów, ogniwa te i odmiana ich Bunsenowska (patrz punkt następny) były w powszechnem użyciu, gdy chodziło o wytwarzanie potężnych prądów do światła łukowego, rozgrzewania drutów, obracania maszyn indukcyjnych i t.d. w przeciagu kilku godzin. Natężenie ich zależy od wysokiej siły elektromotorycznej, dochodzącej do 1,93 volta i od małego oporu wewnętrznego od 0,01 do 0,1 oma, stosownie do wielkości i urządzenia. Z tego powodu spadek potencjału w takim ogniwie czyli strata potencjału w nim jest nieznaczna. Biorąc bowiem ogniwo tej formy i przypuszczając, że z niego płynie prąd o natężeniu 10 amperów, otrzymujemy podług prawa Ohma *w ogniwie* spadek potencjału, wynoszący w voltach tylko $P = iw = 10 \text{ amp.} \times 0,01 \text{ oma} = 0,1 \text{ volta}$. Ztąd, ponieważ siła elektromotoryczna jest 1,93 volta, istotna różni-

*) Najprostszy to pono sposób wyłożenia początkującym i niechemikom działania zachodzącego w ogniwie, gdyż wzory złożone, podawane niekiedy w podręcznikach, nie wydają się miarodajnymi.

ca potencjału (R.P.) $= 1,93 \text{ v} - 0,1 = 1,83 \text{ volta}$. A zatem pięćdziesiąt takich dużych ogniw w najlepszym stanie dać może prąd 10 amperów o $(50 \times 1,83) = 91,5 \text{ voltów}$. Gdybyśmy jednak chcieli z nich otrzymać 100 amperów, w takim razie spadek potencjału w każdym ogniwie byłby 10 razy większy od powyższego (gdyż $P = iw = 100 \times 0,01 = 1 \text{ volt}$) i wszystkiego pozostawałoby $1,93 - 1 = 0,93 \text{ volta}$. Gdybyśmy nawet przypuścili, że ich opór wewnętrzny nie powiększył się, co, z uwagi na nadzwyczajne wydzielanie się gazów, jest wielce prawdopodobne, otrzymalibyśmy czynną różnicę potencjału zaledwie $50 \times 0,93 = 46,5 \text{ voltów}$.

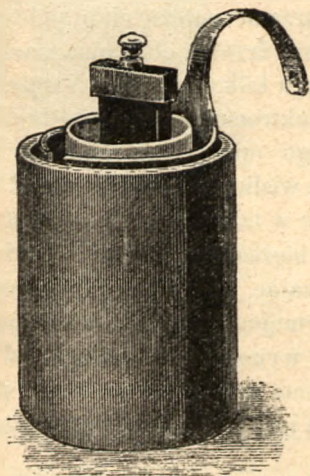


Fig. 210a. Widok zewnętrzny ogniwa Bunsen'a, złożonego z węgla i cynku.

Ogniwo węgiel-cynk albo stos Bunsena. Ogniwo to jest prostą odmianą *stałego* stosu Grovego. Zamiast kosztownej blachy platynowej elektrodjemnej wchodzi tu węgiel C, otrzymywany z retort gazowych. W ogólności ogniwu temu nadają rozmiary większe, niż ogniwu Grove'go; formę objaśniają dwie powyższe figury. Działanie chemiczne i wszelkie oznaczenia części składowych pozostają te same, co w wypadkach poprzedzających, z wyjątkiem naczynia zewnętrznego GI, które zazwyczaj bywa szklane lub kamienne. Płytką miedzianą nie dałaby się

zastosować do kwasu azotnego, gdyż prędko by się spaliła t. j. utleniła, platyna zaś i węgiel nie są narażone na to, gdyż na działanie tego kwasu pozostają najzupełniej obojętne. Jedyne kłopot w ogniwie Bunsen'a sprawiają: otrzymanie dobrego zetknięcia (kontaktu) elektrycznego

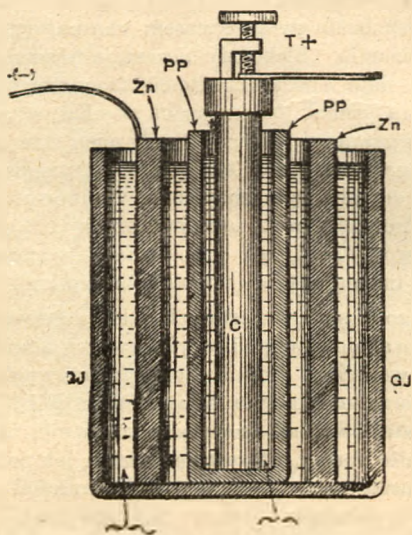


Fig. 210b. Przekrój pionowy ogniwa Bunsena, złożonego z węgla i cynku.

z węglem, używanie stężonego kwasu i wydzielanie się szkodliwych a nawet niebezpiecznych dymów; wobec tego pozostawianie tych ogniw w ręku niedoświadczonem, w d. razie uczniów, uważać należy za niewłaściwe.

Ważną odmianę tego ogniwa, wykluczającą użycie kwasu azotnego, obmyślił Bunsen. Zamiast tego kwasu bierze on środek, utleniający również potężnie, lecz nie dający produk-

tów szkodliwych dla zdrowia, *kwask chromowy* CrO_3 . Kwask chromowy utlenia wodór, wywiązujący się w ogniwie, jest więc dobrym środkiem *depolaryzującym*. Zamiast kwasu chromowego wprost, można brać sól jego potasową lub sodową*) ($\text{K}_2 \text{Cr}_2 \text{O}_7$ i $\text{Na}_2 \text{Cr}_2 \text{O}_7$), rozpuszczoną w pewnym stosunku kwasu siarczanego ($\text{K}_2 \text{Cr}_2 \text{O}_7$ 77, 5g, wody 760,0 cm^3 , $\text{H}_2 \text{S}_2 \text{O}_4$ 78,5 cm^3 ; albo $\text{Na}_2 \text{Cr}_2 \text{O}_7$ 200g, wody 1000 cm^3 , $\text{H}_2 \text{S}_2 \text{O}_4$ 150 cm^3), która to mieszanina również działa swoim kwasem chromowym, wydzielającym się swobodnie. Elektrody pozostają te same, cynk i węgiel. Ogniwo daje z początku siłę elektromotoryczną przeszło 2 voltów, która jednak potem spada w miarę wyczerpywania się soli i wytwarzania się odwrotnej siły polaryzacji. Kilka takich ogniw, połączonych w jedną baterję, urządzoną tak, aby cynki i węgle dawały się mechanicznie wyjmować na czas bezczynności i zanurzać w roztworze pomienionym dopiero w miarę potrzeby, tworzy cenioną w pracowniach i warsztatach *baterję zanurzaną*, mocną, czystą i zupełnie bezpieczną.

Do kategorii stosów niestałych należy ogniwo Leclanch'e, używane przeważnie w sygnalizacji domowej, a mianowicie do telefonów i dzwonek. Składa się z cynku i węgla, zanurzonych w roztworze nasyconym salamonianem (NH_4Cl); depolaryzatorem jest tutaj *dwutlenek manganu* (braunsztejn). Ogniwo temu nadają rozmaite formy, stosownie do tego, jak połączony jest węgiel z braunsztejmem. Dawniej węgiel mieścił się (fig. 211, str. 31) na lewo, pomiędzy dwiema płytami zrobionymi z mieszaniny depolaryzującej**) i przyciśniętymi do niego obręczami gumowymi; cynk znajdował się obok. Teraz wolą robić cały elektrod dodatni z tej mieszaniny, nadając mu w formach pod ciśnieniem postać walca pustego, w którym mieści się cynk izo-

*) Ta ostatnia dla wielu względów okazuje się korzystniejszą.

**) Według Carhart'a mieszanina ta składa się z 40 cz. braunszteinu 52 cz. węgla retortowego tłuczonego, 5 cz. szelaku i 3 cz. kwaśnego siarczanu potasu.

lowany od tamtego obręczkami gumowymi (fig. 211 na prawo). Z góry stos zamknięty jest hermetycznie pokrywką drewnianą, lub tekturową, zalaną parafiną, z której sterczą nazewnątrz końcówki (+) i (—). Takie zamknięcie zabezpiecza stos w zupełności od parowania wody i wypelzania soli nazewnątrz, zja-

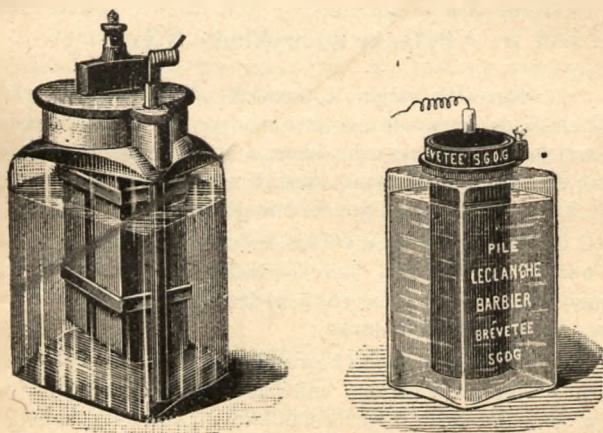


Fig. 211. Ogniwo Leclanch'e
(dwie odmiany).

wisk dobrze znanych każdemu, kto miał do czynienia ze stosami. Po zamknięciu obwodu powstaje prąd i cynk ruguje z roztworu salamoniaku grupę amonową w postaci amoniaku i wodoru; ten ostatni (in statu nascendi) łączy się natychmiast z atomem tlenu od tlennika manganu i zamienia na wodę, gdy tamten przechodzi w niższy tlennik $Mn_2 O_3$. Stos ten w pierwszej chwili daje 1,4 do 1,7 volta; lecz przy ciągłym zamknięciu szybko słabnie skutkiem wyczerpywania się masy i wzmocnienia się polaryzacyi; nie nadaje się więc do nieprzerwanej czynności, za to nieocenionym nabytkiem jest wszędzie, gdzie potrzeba prądu na krótką chwilę.

T. zw. *suche stosy* należą również do typu Leclanch, w którym roztwór chlorku amonu zastąpiony został masą innego rodzaju, nasycającą elektrody. Trwałość tych ogniw zależy od tego, jak długo owa masa może przechować wilgoć.

Pytania do wykładu XX.

1. Kawałek miedzi i kawałek cynku zostały włożone obok siebie do naczynia z rościeńczonym kwasem siarczanym. Co nastąpi w tym naczyniu, skoro miedź i cynk zostaną połączone drutem metalowym? Jakich nowych własności nabywa drut, które różni się od poprzednio posiadanych?

2. Pasek platynowy i pasek cynku zanurzono w naczyniu z wodą zakwaszoną. Jak dowiedziesz, iż dwa druty miedziane, jeden połączony z cynkiem, drugi z platyną, przedstawia stany elektryczne odmienne?

3. Kawałek cynku i kawałek miedzi zważono starannie. Potem połączono je drutem miedzianym i zanurzono obok siebie w rościeńczonym kwasie siarczanym, nalanym do naczynia kamiennego. Następnie po upływie, dajmy pół godziny, wyjęto je z kwasu, opłukano, wytarto i nanowo zważono. Czy ciężary będą te same co przedtem? Jeżeli nie, to jak i dlaczego będą się różniły?

4. Jaka różnica zachodzi pomiędzy ogniwem o jednym płynie a ogniwem o dwóch płynach? Wskaż przykłady i rysunki na każdy rodzaj?

5. Jak można zapobiedz w ogniwie woltaicznym działaniu miejscowemu i polaryzacyi?

6. Jakie materiały bywają używane do budowy ogniw Daniella oraz jakie zmiany chemiczne zachodzą w ogniwie podczas działania. Naszkicuj przecięcie ogniwa, wskazując płyty + i — oraz bieguny lub końcówki i kierunek prądu skoro obwód został zamknięty.

7. Jak powinno się zmieniać działanie ogniwa Daniella, jeżeli roztwór siarczanu miedzi w naczyniu porowatym zastąpiony zostanie przez roscieńczony kwas siarczany.

8. W kubku zrobiono przegrodę pionową z porowatej glinki i do każdej komory nalano rozcieńczonego kwasu siarczanego. Następnie w każdej komorze odpowiednio umieszczone zostały sztabki cynku i miedzi połączone ze sobą drutem. Powiedz, co zauważysz we względzie wydzielania się gazu i jak się zmieniają zjawiska uważane, jeśli do komory zawierającej sztabkę miedzianą nalejesz roztworu siarczanu miedzi?

9. Opisz formy ogniwa voltaicznego Grovego i Bunsena, zaznaczając zmiany jakie tam się odbywają, skoro prąd przebiega. Jaka jest ich siła elektromotoryczna i jak się powinien obliczać spadek ich potencjału?

10. Jeżeli naładowano baterię i pozostawiono w stanie przygotowanym do użytku na pewien czas, dlaczego przestrzegać należy, by końce baterii nie były połączone ze sobą nazewnątrz baterii?

11. Platynowa blacha ogniwa Grovego i miedziana ogniwa Daniella zostały połączone drutem. Czy prąd będzie przechodził, jeżeli i płyty cynkowe obu ogniw zostaną połączone i jeśli tak, to jaki będzie jego kierunek? Jak uzasadnisz swoją odpowiedź?

12. Opisz jakiekolwiek doświadczenie, wskazujące, że jeżeli końcówki baterii voltaicznej zostaną połączone drutem, to w niej samej będzie przebiegał prąd elektryczny.

13. Zamierzają ustawić 100 ogniw Grovego w szeregu, lecz przez pomyłkę 10 ogniw ustawiono w przeciwieństwie do pozostałych. Jaki jest stosunek różnicy potencjału na końcówkach obwodu rozwartego do tej, którą możnaby otrzymać w razie gdyby nie było pomyłki.

14. Jaki wpływ miałyby w ogniwie Grove'go zastąpienie mocnego kwasu azotnego przez słaby kwas siarczany na 1) wartość, 2) stałość siły elektromotorycznej podczas pracy?

WYKŁAD XXI.

Treść: Jeżeli siła pokonywa opór, powstaje ciepło. — Tablica dobrych przewodników, półprzewodników i nieprzewodników. — Przykłady na przekształcenie energii elektrycznej. — W każdej części obwodu prąd wytwarza ciepło. — Ciepło, wytwarzane w każdej części obwodu przez prąd, po nim przebiegający, jest proporcjonalne do oporu tej części i do kwadratu natężenia prądu. — Opór przewodnika jest odwrotnie proporcjonalny do powierzchni jego przekroju. — Pytania.

W ciągu wykładów X do XIX rospatrzyliśmy szczegółowo skutki magnetyczne i mechaniczne prądu elektrycznego, daliśmy też niejakię pojęcie o działaniu fizyologicznym, gdy mowa była o doświadczeniach Galvaniego i Volty z kurczeniem się mięśni u żaby. W rozdziale niniejszym zastanowimy się nad rozgrzewaniem, w następnym zaś nad skutkami chemicznymi działania prądów elektrycznych.

Jeżeli siła pokonywa opór, powstaje ciepło. Gdy tylko ciało poruszane jest przez siłę, część energii mechanicznej (a w pewnych razach cała energia) zużywa się na przezwyciężenie oporu, spowodowanego przez tarcie. Ta część pracy albo *energii mechanicznej*, pokonywając opór mechaniczny albo opór tarcia, przechodzi wprost w *energię cieplną* (termiczną).

Naprzykład: ktoś zesuwa się po sznurze, przytrzymując się go rękami i nogami. Siła ciężkości pędzi go ku dołowi, pokonywając jednocześnie tarcie jego ręki i nóg o sznur; skutkiem tego ostatnie wyraźnie się rozgrzewają, zwłaszcza gdy ruch na dół jest szybki. Chłopiec, rozpę-

dziwszy się, przebywa poziomą płaszczyznę ślizgawki: w takim razie energia mechaniczna, tkwiąca w nim, zanim on zaczął się ślizgać, zużywa się na pokonanie oporu, wywołanego w części przez tarcie jego podeszew o lód, w części ubrania o powietrze. Skutek ten odnajdzie się po ślizgawce, w mocnem rozgrzaniu podeszew (choć część wytwarzanego ciepła zużywa się również na topienie lodu). Gdyby powierzchnia lodu była zupełnie pozioma, nieskończenie długa i wolna w zupełności od tarcia (między lodem a obuwiem) i gdyby nie było żadnego oporu od tarcia między nim a powietrzem, chłopiec ślizgałby się *wciąż dalej i dalej!* Gdybyśmy mogli zmniejszyć do zera opór pomiędzy kadłubem statku a wodą i powietrzem, które on przecina, wtedy do przeprowadzenia go przez ocean Atlantycki należałoby użyć tylko znacznej siły przy wypływaniu, dopóki on nie osiągnąłby pewnej wymaganej prędkości, poczem już dążyłby on dalej i przybył do celu swojego przeznaczenia z prędkością niezmnieszoną!*)

Istotnie do popychania na Atlantyku ogromnych parowców o ciężarze 5000 tonn z szybkością 20 węzłów na g. podczas ciszy, używać musimy, bez żadnej przerwy maszyn parowych o sprawności 10,000 k. p. Blisko połowa tej pracy idzie na pokonanie oporu, wywieranego przez tarcie okrętu o wodę, druga połowa na straty, wywołane

*) Należy wątpić, czy toby w rzeczy samej nastąpiło, wobec tego, iż oddziaływanie wody i powietrza na powierzchnię, w ruchu będącą, trwałoby nadal i bez tarcia, jako *skutek ich nieprzenikliwości i bezwładności*, i szybko pochłonęłoby zasób pracy! (Uw. p. Kollerta).

przez tarcie wewnętrzne etc. maszyn okrętowych. Przykładów na przekształcenie energii mechanicznej na energię ciepłą znamy wszyscy dosyć, gdyż ocieramy się o nie codziennie w ciągu naszego życia, nie widzimy więc potrzeby dłużej zastanawiać się nad tą stroną sprawy. Tymczasem pragnęlibyśmy bardzo, by czytelnik zapamiętał sobie dobrze jedno: jeżeli gdziekolwiek bądź, z jakiegokolwiek przyczyny wzbudzona zostanie w obwodzie elektrycznym siła elektromotoryczna, tedy przez obwód ten zacznie przebiegać prąd, który przepływałby bez żadnej przerwy, gdyby nie musiał przewyciężać *zawsze istniejącego* oporu elektrycznego.

Część *energii elektrycznej*, zużywającej się na pokonanie oporu przewodnika, przemienia się wprost w *energię ciepłą*. Wszystkie ciała opierają się przechodzeniu prądu elektrycznego. Niektóre, jak metale, przedstawiają opór stosunkowo niewielki i ztąd zowią się *dobremi przewodnikami*; inne, jak czysta woda i ciało ludzkie etc., stanowią znaczny opór i dlatego nazywają się *półprzewodnikami*, zaś jedwab, lak, gutaperka, kauczuk, szkło i suche powietrze stawiają ogromny opór i ztąd nazywają się izolatorami albo *nieprzewodnikami*. Tak czy owak, niema ciała o takim oporze, którego by nie mógł przewyciężyć prąd, gdy tylko użyjemy wystarczającej siły elektromotorycznej. W wypadku *błyskawicy* iskry elektryczne torują sobie drogę przez milowe przestrzenie powietrza i tym sposobem na swojej drodze wytwarzają znaczne ilości ciepła z towarzyszeniem światła, które jest naturalnym wynikiem wysokiej temperatury.

Następująca tabelka wskazuje, jak się szeregują rozmaite ciała przytoczone pod względem oporu stawianego prądowi elektrycznemu.

Dobre przewodniki	Przewodniki średniej miary	Półprzewodniki	Nieprzewodniki albo izolatory
Srebro (najlepszy) miedź złoto glin cynk platyna żelazo nikiel cyna ołów nowe srebro stop platyny i srebra antymon rtęć bismut	węgiel drz. koks węgiel kwasy roztw. soli woda mors. ziemia	woda ciało ludzkie płomień płótno bawełna suche drzewo marmur terpentyna łupek	papier (suchy) oleje porcelana jedwab lak siarka smoła gutaperka kauczuk szellak parafina ebonit suche i ciepłe szkło (wielce się zmienia wraz ze składem) suche powietrze

Przykłady na przemianę energii elektrycznej w ciepło.

Doświadczenie XXXI. 1. Chcąc okazać przemianę energii elektrycznej w energię cieplną, bierzemy spiralną H z drutu stalowego, najzylbrowego, platynowego lub platynoidowego i wieszamy na statywie S w taki sposób, ażeby jej dolny koniec nurzał się w naczyniu z rtęcią, jak na załączonej figurze.

Do dolnego końca drutu przytwierdzamy wskazówkę a pod nią skalę dzieloną, końcówki zaś tego przyrządu m i n łączymy z końcówkami bateryi.

Przebiegając po drucie, prąd pokonywa jego opór elektryczny i wywołuje rozgrzanie drutu; zmusza to

spiralną do wyciągania się i rozkręcania a przez to do obracania większego lub mniejszego wskazówki na skali w zależności od prądu a więc i temperatury przeni wywołanej w drucie.

2. Weź prostą, otwartą spiralną z drutu stalowego, platynowego lub najzylbrowego i zawieś ją w naczyniu zawierającym wodę lub inny płyn. Połącz teraz końce

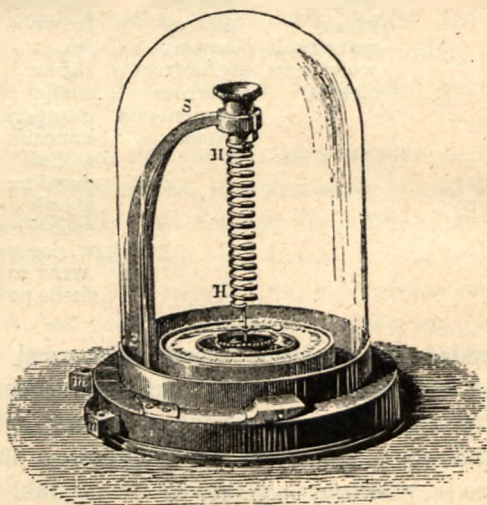


Fig. 211. Termometr Breguet'a na zasadzie prądu elektrycznego.

drutu z baterią, która może dać potężny prąd, a po krótkiej chwili znajdziesz, że woda pocnie się gotować.

3. Weź zwyczajną lampę żarową, umieszczoną na filarku przenośnym, jak na fig. 213, albo lampę Swana,

jak na fig. 212, gdzie CF oznacza włókno węglowe i P_1 , P_2 druciki platynowe doprowadzające, przymocowane do końców włókna kitem węglowym. W kulę szklaną GG wtopione są druty platynowe przy zachowaniu zupełnej szczelności w miejscach, gdzie przechodzą przez szkło; poczem z niej wyciąga się jak najskrupulatniej powietrze zapomocą pompy opróżniającej (vacuum pump). Z końcówkami lampy T + i T — łączymy bieguny baterji lub czynnej dynamomaszyny i zmuszamy przez to prąd do

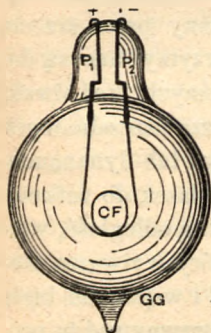


Fig. 212. Lampa
żarowa Swan'a.



Fig. 213. Lampa
żarowa o włóknie
węglowym lub pla-
tynowem.

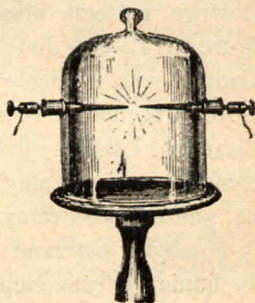


Fig. 214. Łuk
światlny w prze-
strzeni bezpowietrznej.

przechodzenia po włóknie węglowym, które, żarząc się, wydaje czyste i piękne światło białe. Przyłożmy teraz rękę do zewnętrznej strony kolby szklanej; czujemy ciepło, lecz nie w stopniu odpowiadającym wysokiemu białemu żarowi, jaki panuje we włóknie. Stopień rozgrzania włókna jest duży, bo przedstawia temperaturę blisko 1900°

C., lecz ilość powstającego ztąd ciepła jest niewielka *). Energia cieplna, wytwarzana przez energię prądu podczas pokonywania oporu włókna węglowego, w tym razie przekształca się dalszym ciągu w promienie świetlne w skutek natężenia ciepła albo nader szybkich drgań, które prąd udziela cząstkom węgla. Światło utrzymujemy przy małym lub żadnym zużyciu węgla, ponieważ włókno mieści się w próżni tak doskonale, iż praktycznie niema tu spalania węgla.

4. Zamiast nieprzerwanego pasemka lub włókna węglowego możecie obrać sposób, wskazany przez trzecią figurę (214), gdy dwie laski węglowe utrzymywane są dokładnie wprost siebie zapomocą ruchomych końcówek, które przechodzą w dobrze od powietrza uszczelnionych obsadach. Łączymy te końcówki z baterią lub dynamomaszyną i doprowadzamy zaostrome końce lasek do zetknięcia, poczem odsuwamy je na bardzo krótką odległość; wtedy pomiędzy ostrzami powstaje *łuk*, który wytwarza niesłychanie potężne ciepło około 3000°C i wspaniałe białe światło. To ostatnie daje się również otrzymywać w próżni, co z łatwością możecie sprawdzić, wyczerpując powietrze z kolby szklanej, zawierającej węgle.

*) Ciepło wytworzone przez prąd i amperów, przechodzący po przewodniku w omów w ciągu t sekund, wyraża wzór $i^2 \times w \times t \times 0,24$ kaloryj, (gdzie kalorya jest ilością ciepła potrzebną do podniesienia 1 g wody z 4° do 5°C). Wskutek tego zwykła szesnastoświecowa lampa Swana o 65 omach oporu (na gorąco), zużywająca 1 amper prądu, rozwija we włóknie na sekundę działalności lampy tylko około $15\frac{1}{2}$ kaloryj, ponieważ

$$i^2 \times w \times t \times 0,24 = i^2 \times 65 \times 1 \times 0,24 = 15,6 \text{ kaloryj.}$$

Znane dziś powszechnie światło łukowe, które widzicie na głównych ulicach miast europejskich, na dworcach kolejowych, po większych fabrykach i warsztatach, jest taką właśnie parą lasek węglowych, które automatycznie utrzymywane są w pożądanej odległości zapomocą mechanizmu, regulowanego przez sam prąd; ten ostatni ma do pokonania opór i siłę elektromotoryczną przeciwdziałającą łuku świetlnego.

W każdej części obwodu prąd wytwarza ciepło. Doświadczenie XXXII. Ostatni szereg doświadczeń przekonał nas, iż w obwodzie zewnętrznym powstaje ciepło. Obecnie pokażemy, iż ciepło powstaje nie tylko nazewnątrz bateryi lub generatora prądu ale i wewnątrz niego i naprawdę w każdej części obwodu prądu, w ilości proporcjonalnej do oporu pokonywanego przez prąd. Bierzemy dwa lub trzy ogniwa Grovego, Bunsena albo Daniella o dużych płytach i skutkiem tego o małym oporze wewnętrznym i łączymy je w szereg zapomocą drutu stalowego lub platynowego długiego na pół metra lub metr *).

Drut rozgrzewa się, podobnież płyn w ogniwach, co łatwo jest dowieść, wpuszczając wewnątrz i zewnątrz przegrody porowatej *termometr*. Gdybyśmy zamiast bateryi użyli dynamomaszyny, znaleźlibyśmy, iż zbroja i magnesy pola a w rzeczywistości każda część generatora rozgrzały się, jeżeli zniewoliliśmy maszynę do wyda-

*) Korzystnem jest również wprowadzać w obwód prądu miernik prądu o małym oporze aby dokładnie wiedzieć, jakie w danym razie istnieje natężenie.

wania prądu, którego natężenie odpowiada dobrze rozmiarom drutów, z których te części są złożone.

Ciepło, wytwarzane przez prąd w jakiejkolwiek części obwodu, jest proporcjonalne do oporu tej części i kwadratu natężenia prądu. Doświadczenie XXXIII. Bierzemy prosty przyrząd w rodzaju zamieszczonego poniżej (fig. 215),

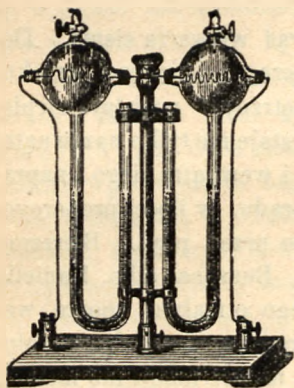


Fig. 215. Doświadczenie wykładowe Fostera.

w którego lewą kulę wtopiono drut platynowy określonej długości i w prawą kulę, ściśle taką samą, inny drut platynowy grubości tamtego lecz ściśle niemal dwa razy dłuższy. Napełnijmy rurki U w pewnej mierze wodą (na figurze część ta uwydatniona jest przez zacieniowanie), albo może, stężonym kwasem siarczanym, zabarwionym odrobiną indyga; potem przez oba druty platynowe połączone jeden za drugim, jak na figurze, prześlijmy prąd. Postrzegamy,

iż woda w podzielonym na stopnie otwartym ramieniu *prawej* rurki U wznosi się nad swój stan normalny, blisko dwa razy wyżej niż w podzielonym otwartym ramieniu *lewej* rurki U. Lecz gaz pod słabym ciśnieniem rozszerza się dla danego przyrostu temperatury o pewien określony ułamek swojej objętości, skutkiem czego powietrze w prawej kuli doznawać musi dwa razy wyższego przyrostu temperatury niż w lewej, czyli w drucie dwa razy dłuższym prąd rozwi-

ja podwójną ilość ciepła. Moglibyśmy z łatwością dowieść zapomocą innego doświadczenia, do czego jednak dochodzimy przez proste rozumowanie, że *opór* jakiegokolwiek jednorodnego ciała przewodzącego o jednostajnym przekroju (naprz. drutu z jednolitego materiału o jednakowej średnicy) zmienia się proporcjonalnie do jego długości. W skutek tego drut dwa razy dłuższy okazuje w doświadczeniu opór dwa razy większy. *Ztąd ciepło wytworzone jest proporcjonalne do oporu.* Prowadzi to nas drogą naturalną do wniosku, że jeżeli podwoimy odstęp pomiędzy płytami w jakimkolwiek ogniwie, tedy opór jego podwoi się i, skoro w obu wypadkach weźmiemy zeń prąd jednakowy, tedy w drugim wypadku, gdy płyty znajdują się w odległości podwójnej, ciepła wytworzy się w ogniwie dwa razy więcej.

By dowieść, iż ciepło wytworzone jest proporcjonalne do kwadratu natężenia prądu, koniecznie należy wtrącić w obwód miernik prądu wraz z przyrządem Fostera. Przypuśćmy, iż *podwajamy* prąd przechodzący przez oba druty platynowe; znajdujemy wtedy, że ciecz w każdym z podzielonych otwartych ramion wznosi się *cztery razy* wyżej, niż przedtem. Gdy *trzy razy* powiększymy natężenie prądu, woda wzniesie się *dziewięć razy* wyżej, jak przedtem. *)

*) Prościej jest połączyć w drugim doświadczeniu środkową końcówkę przyrządu z jednym, *dwie* zaś inne końcówki z drugim biegunem bateryi. Wówczas przez podwójny opór z prawej strony przechodzi zaledwie połowa tego prądu co z lewej strony. Ponieważ teraz płyn na lewo wznosi się dwa razy wyżej niż naprawo, wnosimy *ztąd, że dwa razy mniejszy prąd*

*A zatem ciepło wytworzone w przewodniku jest wprost proporcjonalne do kwadratu natężenia prądu przebiegającego po przewodniku. Właściwe ustosunkowanie wymiarów przewodników, które mają przewodzić prądy do oświetlenia elektrycznego i przesyłania siły, należy do najważniejszych zadań elektrotechniki. Zagadnienia, związane z całkowitym zbadaniem tego przedmiotu, są ciekawe ale też bardzo złożone. *)*

Opór przewodnika jest odwrotnie proporcjonalny do przekroju. Uczeń niedoś jest jeszcze posunięty, by mógł rozumieć budowę i działalność przyrządu, zwykle używanego do ścisłego dowiedzenia tego faktu; natomiast można mu pokazać proste doświadczenie, w którym łączymy z baterią lub dynamomaszyną jeden za drugim dwa druty zrobione z jednakowego materiału i jednakowej długości, z których jeden ma przekrój, dajmy na to, dwa razy większy od drugiego; wtedy uczeń przekonywa się, iż cieńszy drut rozgrzewa się mocniej od grubego a więc jego opór jest większy. W ten sam sposób można mu pokazać, że, skoro wielkość płyt bateryi zostanie podwojona, prąd z niej otrzymywany (przy oporze stałym w obwodzie zewnętrznym) wzrośnie, ponieważ, w rzeczy samej, opór wewnętrzny ogniwa zmniejszył się o połowę. Jako naturalny wynik zmniejszenia oporu wewnętrznego w ogniwie lub bateryi, skutkiem zbliżenia do siebie płyt lub powiększenia ich rozmiarów, można pokazać uczniowi rozgrze-

rozwiła w dwa razy większym oporze tylko połowę tego ciepła co prąd całkowity w prostym oporze, czyli, że ciepło wytworzone musi być proporcjonalne do kwadratu natężenia prądu.

wanie się drutu łączącego zewnętrznego przy wzrastaniu natężenia prądu.

Otóż, na podstawie prawie Ohma $i = \frac{e}{w}$; jeżeli więc siła elektromotoryczna bateryi e pozostaje stała, podczas gdy w (jestto opór sumaryczny bateryi i drutu) zmniejszył się, tedy prąd i musi rosnać proporcjonalnie do spadku w . Albo, opierając się na wiadomościach, podanych w t. I na str. 192 do 197 oraz 341, prawo to możemy sprawdzić za pomocą następującego doświadczenia.

Weźmy dwa druty A i B jednej grubości i z jednego materiału, ale niechaj B posiada przekrój dwa razy większy od A. Nawijamy cały drut A i połowę drutu B tuż obok siebie na cewce galwanoskopu. Łączymy ich końce tak, żeby prąd przebiegał przez A i B w kierunkach odwrotnych, wtedy niedojrzemy żadnego odchylenia w galwanoskopie. Dopóki na cewie znajduje się dwa razy mniej zwojów drutu B niż A, drut B powinien przewodzić prąd dwa razy większy niż A; a ponieważ na oba druty działa ta sama różnica potencjału, przeto drut B, według prawa Ohma, powinien przedstawiać ledwie połowę oporu A. Ale B ma przekrój podwójny w porównaniu z A, ztąd *opór zmniejsza się odwrotnie proporcjonalnie do przekroju*. Gdyby drut B posiadał przekrój n razy mniejszy od przekroju A, długość zaś nawinięcia na cewce wynosiłaby tylko $1/n$, tedy po zastosowaniu bateryi poprzedniej nie zauważonoby żadnego wychylenia igły, co dowodzi, iż prawo to w ogólności jest słuszne.

Zmieniając długość B w obwodzie zewnętrznym, możemy odrazu zauważyć odchylenie, wskazujące zakłócenie

równowagi. Uczeń przekona się ztąd, iż tylko przy poprzednim urządzeniu możliwą jest równowaga.

Pytania do wykładu XXI.

1. Jeżeli siły mechaniczne i elektryczne napotykają opór, w jaką się formę energii przekształcają? Wskaż dwa przykłady praktyczne, wyjaśniające odpowiedź?

2. Jak dowiedziesz, iż w każdej części obwodu, po którym przebiega prąd elektryczny, powstaje ciepło?

3. Do roscieńczonego kwasu, w którym znajdują się płyty cynkowa i miedziana, wpuszczono czuły termometr. Gdy połączono płyty długim drutem, temperatura cieczy podnosi się. Skąd to pochodzi?

4. Skąd, jeżeli bieguny bateryi zostały połączone długim i cienkim drutem, bateria nie tak się rozgrzewa, jak wtedy, gdy do tego celu użyto drutu grubego?

5. Po drucie miedzianym, grubszym w jednym końcu niż w drugim, przebiega prąd. Wskaż, czy między dwoma końcami drutu zachodzi jaka różnica 1) w natężeniu prądu, 2) w temperaturze; o ile się różnią i dlaczego?

6. Skoro płyty miedziana i cynkowa połączone zostały drutem i zanurzone w roscieńczonym kwasie siarczanym, drut łączący je rozgrzewa się, jeżeli płyty zbliżone zostaną do siebie, i oziębia się, jeżeli zostaną rozsunięte. Czem się to dzieje?

7. Jaką zmianę osiągamy w natężeniu prądu ogniwa przez a) powiększenie płyt b) zbliżenie ich do siebie c) skrócenie drutu, łączącego ich bieguny (+) i (—)?

8. W jaki sposób możnaby zagotować wodę zapomocą prądu, pochodzącego z bateryi voltaicznej? Naszkicuj przyrząd, którego użyłbyś do tego celu.

9. Dwa ogniwa Grovego, podobne do siebie pod każdym względem, tylko że w jednym płyty dwa razy dalej leżą od siebie niż w drugim, uszykowane zostały w szereg i bieguny bateryi

połączone zostały drutem. W obu ogniwach ciecz rozgrzewa się. W którym temperatura jest wyższa i dlaczego?

10. Z pewnej liczby ogniw złożonych z blach cynkowych i platynowych zanurzonych w rościeńczonym kwasie siarczanym sporządzono jeden obwód w taki sposób, iż platyna jednego ogniwa styka się z cynkiem sąsiedniego. Jak to wpłynie na prąd, jeśli przez omyłkę jedno ogniwo utworzone zostanie z dwóch blach platynowych zamiast jednej platynowej i jednej cynkowej?

11. Biegun mocnej sztaby magesowej przesunięto szybko tam i napowrót przez obręcz miedzianą. Powtarza się to szybko i kilkakrotnie. Chociaż magnes i obręcz nie ocierały się o siebie, obręcz rozgrzewa się słabo; czemu to przypiszemy?

12. Obwód zawiera baterję izolowaną i galwanometr. Czy na wskazówkę galwanometru wpłynie okoliczność, iż pewien punkt obwodu połączono wprost z ziemią? Uzasadnij swoją odpowiedź.

13. Bieguny baterji połączono długim drutem. Z niego dwa kawałki, liczące po 15 cm, — jeden w pobliżu bieguna dodatniego, drugi zaś na pół drogi pomiędzy biegunami — zanurzono w dwóch jednakowych naczyniach z wodą. Czy istnieje jaka różnica w ilościach ciepła, wytworzonych w obu naczyniach? Wytłómacz tę sprawę.

WYKŁAD XXII.

Treść: Polaryzacja w ogniwie o jednej cieczy, okazana zapomocą latarni czarnoksięskiej. — Elektrochemia albo rozkład cieczy, zapomocą prądów elektrycznych. — Określenie elektrolizy, elektrolitu, elektrodów, anodu, jonów, katjonu, anionu, wędrówki jonów, szybkości jonów, woltametu. — *Elektroliza wody*. — Galwaniczne pokrywanie metali (elektroplatya). — Elektrotypia. — Określenie kierunku prądu w obwodzie i biegunów baterji lub dynamomaszyny przez elektrolizę. — Dane historyczne. — Faraday'a prawa elektrolizy. — Działania proste i uboczne czyli wtórne. — Mierzenie natężenia prądu woltametem. — Pytania.

W wykładzie XX objaśniliśmy zapomocą rysunków i oznaczeń technicznych rozkład, zachodzący w rozmaitych rodzajach ogniw, używanych do baterji, skoro tylko zamyka się obwód prądu.

Teraz pokażemy za pomocą latarni czarnoksięskiej (scioptykon) polaryzację, która odbywa się i działa w ogniwie o jednej cieczy, ponieważ to pozwoli nam zrozumieć rozkład wody tudzież innych cieczy, ulegających rozkładowi na drodze elektrycznej.

Polaryzacja w ogniwie o jednej cieczy, okazana zapomocą scioptykonu. Doświadczenie XXXIV. Najpierw budujemy proste ogniwo takie, jak na fig. 216, biorąc do tego dwie prostokątne tafelki szkła cienkiego i przezroczystego G_1 i G_2 ; pomiędzy nimi umieszczamy kawałek zwykłego węża kauczukowego IRT i wiążemy to wszystko w obu końcach tasiemką T, T. Do tak przygotowanego szczelnego naczynia nalewamy słabego kwasu siarczanego H_2SO_4 , poczem ustawiamy ogniwo w latarni czarnoksię-

skiej pomiędzy kondensatorem a soczewką ogniskującą (objektywną). Przesuwamy tę ostatnią dopóty, aż na białym ekranie wystąpi jasny i ostry obraz ogniwa.

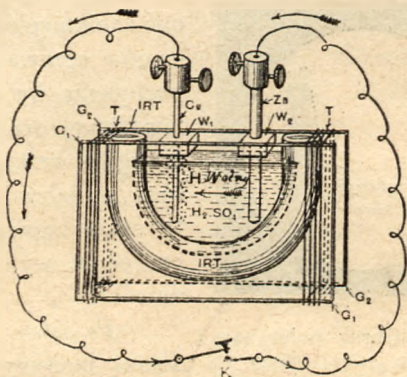


Fig. 216. Proste ogniwo o jednej cieczy, służące do okazania polaryzacji zapomocą sciopytkonu.

Powtórę, wstaw w ogniwie wałek lub pasek miedziany z czystej miedzi Cu razem z kawałkiem drzewa w, który służy do umocowania pierwszego w położeniu pionowym lub nachylnym w środku między G_1 a G_2 . Widzimy, iż w tym stadyum ogniwa obraz rzucony na ekran nie zdradza żadnych oznak chemicznej działalności.

Potrzenie, ustawiamy w ogniwie (w niewielkiej odległości od miedzi) wałek lub pasek z czystego cynku Zn na takim samym kawałku drzewa w_2 , jak na rysunku. Jeszcze nie dostrzegacie żadnej chemicznej działalności.

Poczwarte, zamykamy obwód drutami łącznikowymi i kluczem K, jak na figurze poprzedniej. Wnet na ekranie

nie występują wyraźne oznaki chemicznego działania (chemizmu) w postaci licznych pęcherzyków gazu, które zbierają się na płycie miedzianej i z niej na pozór spadają *).

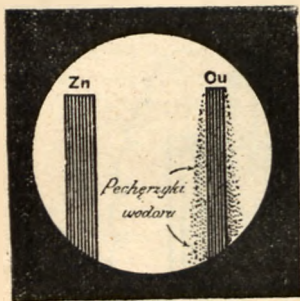


Fig. 217. Obraz polaryzacji w ogniwie o jednej cieczy wytworzony w latarni czarnoksięskiej.

Po piąte, można pominąć zamknięcie obwodu *nazewnątrz* ogniwa przez proste pochylenie ku sobie sztabek miedzianej i cynkowej tak, aby nastąpiło zetknięcie *wewnętrzne*, co pozwoli nam ujrzyć te same zjawiska polaryzacji co w wypadku poprzednim.

Po szóste, sztabkę miedzianą możemy zastąpić paskiem folii platynowej albo laską węgla i wtedy otrzymamy, przy zamykaniu obwodu *nazewnątrz* lub *wewnątrz* ogniwa, pęcherzyki wodoru jako wynik polaryzacji.

Posiódme, biorąc zamiast *czystego* cynku handlowy *nieczysty* — wszystko jedno czy blacha odjemna będzie z miedzi, platyny lub węgla — ujrzymy na powierzchni

*) Obraz na ekranie jest odwróconym widokiem ogniwa w sciopytykonie, gdyż soczewka odrzuca część górną na dół. Jeśli umieścimy we właściwym miejscu pomiędzy soczewką obiektywną sciopytykonu a zasłoną pryzmat trójkątny, tedy obraz da się ponownie odwrócić i przedstawi ogniwo w postaci naturalnej. Wówczas pęcherzyki wodoru w oczach naszych na ekranie będą się wznosiły tak, jak w rzeczy samej wznoszą się z płyty miedzianej w ogniwie.

zanieczyszczonego cynku zjawiska działania miejscowego, ujawniające się w żywym prądzie pęcherzyków gazu, wznoszących się z cynku, oraz w odrywaniu się cząsteczek tego ostatniego.

Pośme, pomiędzy sztabkami umieścić można cienką przegrodę porowatą z tektury nieglansowanej (lepiej z papieru pargaminowego, którego brzegi przytwierdzone są lakiem do tafelek szklanych), nalać kwasu azotnego tam, gdzie się znajduje węgiel, albo słabego roszyny siarczanu miedzi, jeżeli tam znajduje się miedź, zaś do części drugiej, zawierającej cynk, kwasu siarczanego; uważaj teraz, jakie będą zjawiska na ekranie. Doświadczenia te są nader zajmujące i pouczające, a nadto posiadają tę ważną zaletę, iż od całej klasy jednocześnie mogą być widziane.

Elektrochemia albo rozkład płynów przez prądy elektryczne. Działanie chemiczne nie tylko powstaje *we wnętrzu* każdej baterii galwanicznej, lecz i w obwodzie *zewnątrznym* prąd również może wytwarzać rozkłady chemiczne, skoro przesyłany bywa przez *pewne ciecze*. Działanie to wkracza już do ogólniejszego działu, zwanego „Elektrochemią” i w praktyce znajduje zastosowanie w wielu bardzo wypadkach, gdy chodzi na przykład o wytwarzanie gazów, pokrywanie warstwą metalu łyżek, widelców i innych przedmiotów domowego użytku, odbijanie elektryczne rysunków takich, jak użyte do ilustrowania książki niniejszej, otrzymywanie czystej miedzi i innych metali w celach handlowych, czego prawdziwie godnym uwagi zastosowaniem są miedziane rury do wysokich ciśnień pary, według sposobu Elmore’a. Trzy ostatnio wymienione praktyczne

zastosowania elektrochemii w ogólności stanowią już odrębną dziedzinę „Elektrometalurgii”.

Powiedzieliśmy dopiero, że niektóre ciecze pod wpływem przebiegającego prądu elektrycznego ulegają rozkładowi. Podstawy do takiego określenia dostarczają fakta następujące:

1. Istnieją ciecze, jak rtęć i inne czyste metale w stanie roztopionym, które przewodzą elektryczność, nie okazując żadnych śladów rozkładu.

2. Są inne ciecze naprz. nafta, parafina stopiona i oleje, które przebiegowi elektryczności stawiają opór tak wysoki, iż żadna ze zwykłych sił elektromotorycznych nie jest w stanie wywołać prądu w tych ciałach.

3. Są wreszcie płyny, na podobieństwo wody zakwaszonej, siarczanu miedzi, cyanku srebra, które prąd elektryczny rozkłada z łatwością. O tej właśnie kategorii płynów mówiliśmy wyżej i nią się teraz zajmujemy. Zanim jednak przystąpimy do wykładu następnych doświadczeń, wypadnie ustalić i sformułować nomenklaturę, wprowadzoną przez Faraday'a we względzie elektrolizy, tę, którą dzisiaj fizycy i elektrycy powszechnie przyjmują.

Definicje*) 1. **Elektroliza.** „Jeżeli prąd elektryczny przebiega przez pewne ciecze złożone albo z pewnych związków w stanie roztopionym, albo rozpuszczonych w pewnych rozpusz-

*) Definicje te w stanie powyższym ułożone były przez prof. Fleminga, jako delegata od Instytutu inżynierów-elektryków do komisji w sprawie mianownictwa i oznaczania. Praca ta była odpowiedzią na referat autora tej książki „O definicyach, nazwach i znakach elektrycznych” przeczytany w r. 1886 na posiedzeniu tegoż instytutu.

czalnikach, tedy ciała te ulegają rozkładowi chemicznemu. Przebieg tego rozdziału związków chemicznych zapomocą prądu elektrycznego albo wyładowania nosi nazwę *elektrolizy*".

2. **Elektrolit.** „Każde ciało chemiczne złożone, mogące ulegać rozkładowi chemicznemu pod wpływem prądu elektrycznego, nosi nazwę *elektrolitu*."

3. **Elektrody.** „Blachy metalowe czyli przewodzące, druty lub inne przewodniki, służące do wprowadzania i wyprowadzania prądu z elektrolitu, poddanego elektrolizie, zowią się *elektrodami*."

4. **Anod.** „Elektrod, przez który prąd wchodzi do elektrolitu, zowie się *anodem*" (od greckiego wyrazu *ἀνα* — do góry i *ὁδός* — droga).

5. **Katod.** „Elektrod, przez który prąd opuszcza elektrolit, zowie się *katodem*" (od greckiego wyrazu *κατα* — na dół i *ὁδός* — droga).

6. **Jony.** „Składniki chemiczne albo pierwiastki, na które się elektrolit rozpada, nazywają się *jonami*. Jony ukazują się na powierzchniach zanurzonych elektrodów."

7. **Anion.** „Jon ukazujący się na anodzie nazywa się *anionem*" (od *ἀνιῶν* — wznoszący się).

8. **Kation.** „Jon ukazujący się na katodzie nazywa się *kationem*" (od *κατιῶν* — schodzący).

9. **Wędrówka jonów.** „Ruch jonów w elektrolicie ku elektrodom, na których się jony ukazują, mianuje się *wędrówką jonów*."

10. **Szybkość jonów.** „Jony poruszają się w elektrolicie z szybkościami zmiennymi, choć określonymi, które zależą od natury jonów, temperatury i gęstości cieczy albo roztworu. Każdy jon w danych warunkach posiada *właściwą szybkość jonów*."

11. **Woltametr.** „Naczynie lub przyrząd, w którym odbywa się i mierzy elektroliza, nazywa się *woltametrem*."

Elektroliza wody. Doświadczenie XXXV. Weź dzielony woltametr Hofmann'a, przedstawiony na załączonej figurze 218, i naley do niego przez lejek F rozcieńczonego kwasu siarczaneg o H_2SO_4 albo wody zakwaszonej*), przy otworzonych kurkach SC w końcu każdego ramienia rurki U, aż ciecz wzniesie się ponad kurki. Wtedy zakręć

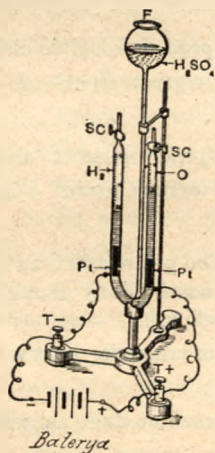


Fig. 218. Woltametr Hofmann'a.

kurki i naley więcej cieczy, dopóki ona nie wypełni lejka F do połowy jak na rysunku. Połącz dwa lub trzy ogniwa o małym oporze Daniella, Grovego lub Bunsena z końcówkami $T +$ i $T -$, które, trwale są połączone z blaszkami platynowymi Pt, Pt wewnątrz każdego ramienia rurki U. Wnet w prawej rurce pionowej, dokąd prąd wchodzi, (t. j. na anodzie), zaczynają się wznosić pęcherzyki gazu tlenu, który ruguje ztamtą ciecz. W tym samym czasie w lewej rurce, z kąd prąd wychodzi (t. j. na katodzie), wydzielają się pęcherzyki gazu wodoru i rugują ztamtą ciecz. Po krótkiej chwili zobaczycie, iż objętość wodoru jest dwa razy

*) Czysta woda stawia tak wysoki opór prądowi elektrycznemu, iż bez dodania kilku kropel kwasu siarczanego lub solnego rozkłada się z trudnością; w ten sposób natychmiast zmniejsza się opór i elektroliza idzie łatwiej.

większa, niż tlenu wydzielonego w tymże czasie, gdyż skład wody wyraża się przez dwie objętości wodoru na jedną tlenu, co też oznaczamy przez wzór chemiczny H_2O . Kiedy tyle się gazu wydzieli, że górny koniec platyny w lewej rurce zaczyna wystawać ponad płyn, możesz otworzyć kurek i przybliżyć zapaloną zapalnię; wtedy *wodór* zapali się charakterystycznym, niebieskawym płomykiem. Proste przysunięcie rozżarzonego końca zapalnię do otworzonego prawego kurka przekona nas o charakterystycznej własności *tlenu* a m. iż podtrzymuje palenie, bo w tejże chwili żarząca się zapalnię wybucha jasnym płomieniem.

W tym miejscu zrobimy ważną uwagę, iż niemasz elektrolizy jakiegokolwiek ciała bez powstawania siły elektromotorycznej polaryzującej albo przeciwdziałającej sile rozkładającej prądu. Wartość tej przeciwdziałającej siły elektromotorycznej zdaje się być prostą miarą „powinowactwa chemicznego” albo dążenia jonów rozłączonych do połączenia się nanowo. Naprzykład skoro tylko rozkładamy wodę na jej pierwiastki, wodór i tlen, oba te gazy okazują owo „chemiczne powinowactwo” ku sobie, dążąc do łączenia się ponownego, a w trakcie tego wytwarza się „pomiędzy niemi siła elektromotoryczna blisko 1, 5 volta w kierunku *przeciwным* do siły prądu, który je dzieli. Skutkiem tego nie możecie rozłożyć wody siłą mniejszą od 1, 5 volta, bo mniejsza nie przezwyciężyłaby naturalnego powinowactwa chemicznego, wiążącego ze sobą te pierwiastki. Ogniwo Daniella daje E. M. S. najwyżej 1, 1 volta, lecz siła ta elektromotoryczna zużywa się na pokonywanie wewnętrznego oporu ogniwa tak, że pomiędzy końcówkami ogniwa Daniella pozostaje do użycia na pracę zewne-

trzną różnica potencjału, według wszelkiego prawdopodobieństwa nie większa od 0,9 volta. Rozumiecie teraz, dlaczego jedno ogniwo Daniella nie rozkłada wody i dlatego do rozłączenia pierwiastków, wodoru i tlenu, należy wziąć dwa takie ogniwa połączone w szereg. Nawet gdy weźmiemy dwa takie ogniwa, każde o sile elektromotorycznej 1,1 volta i oporze wewnętrznym 2 omów, i przypuścimy, iż druty łącznikowe i opór wewnętrzny woltametu razem wynoszą 3 omy oporu, wtedy na podstawie prawa Ohma:

$$i = \frac{e}{w} = \frac{(2,2 - 1,5) \text{ voltów}}{(2 + 2 + 3) \text{ omów}} = \frac{0,7 \text{ voltów}}{7 \text{ omów}} = 0,1 \text{ ampera.}$$

A zatem w układzie naszym otrzymujemy prąd tylko 0,1 ampera. Tą samą drogą możemy otrzymywać prąd, który daje się przepuszczać przez każde ogniwo elektrolityczne lub kąpiel, jeżeli znamy prostą E. M. S. ogniwa bateryi, powrotną E. M. S. ogniwa elektrolitycznego i opory w każdej części naszego obwodu. W każdym bowiem wypadku elektrolizy siła elektromotoryczna danej bateryi musi pokonać nie tylko własny opór wewnętrzny bateryi, ale i opór zewnętrzny i, w dodatku, powrotną albo przeciwdziałającą E. M. S. polaryzacyi, zanim wytworzy się ciągły i jednakowy prąd rozkładający. W praktyce, gdy chcemy pokazać klasie rozkład wody, bierzemy zwykle dwa lub trzy ogniwa Grovego, Bunsena albo tyleż akumulatorów sprzężonych w szereg.

Ogniwo przezroczyste, podobne do okazanego na fig. 216, możemy umieścić w latarce czarnoksięskiej, biorąc tylko zamiast sztabki cynkowej i miedzianej dwie blaszki platynowe, działanie zaś widzieć możemy z obrazu rzuc-

nego na biały ekran. Gdy po upływie krótkiego czasu przerwiemy prąd, rozłączwszy z baterią druty wiodące i natomiast połączymy je z czułym galwanometrem, wtenczas E. M. S. polaryzacyi wytworzy w galwanometrze i woltametrze prąd w kierunku przeciwnym prądowi rozkładającemu t. j. prąd wybiega z elektrodu wodorowego, przechodzi przez woltametr do elektrodu tlenowego i stąd przez galwanometr drogą zewnętrzną powraca do elektrodu wodorowego.

Na tych prądach polaryzacyjnych opiera się również działanie *baterij wtórnych* albo *akumulatorów*.

Z uwagi na charakter ogólny niniejszej książki tłumacz może tutaj dać jedynie krótki opis zasady i działania tych przyrządów, nie wdając się w szczegóły techniczne, które czytelnik znaleźć może w dziełach specjalnych *).

Akumulatory albo ogniwa wtórne.

Jeżeli w rozcieńczonym kwasie siarczanym zanurzymy dwie płyty ołowiane i przez nie prześlemy prąd najmniej z dwóch ogniw Bunsena, tedy płyta dodatnia, a więc złączona z biegunem-węglem, będzie się utleniać i pokryje się ciemno-brunatnym osadem nadtlenu ołowiu (PbO_2), odjemna zaś, czyli złączona z biegunem-cynkiem, okryje się pęcherzykami wodoru, i jeżeli była przedtem utleniona, zredukuje się na czysty ołów w postaci rozdrobnionej, porowatej, zwanej *ołowiem gąbczastym*. Gdy po pewnym czasie przerwiemy prąd pierwotny a natomiast

*) Tu możemy polecić: K. Heim, „Die Accumulatoren für stationäre elektrische Beleuchtungs-Anlagen” 1897, str. 138; P. Schoop „Die Sekundär-Elemente” cz. I 1895, str. 210; F. Grünwald „Die Herstellung der Akkumulatoren in Theorie und Praxis” 1894; wreszcie dziełko Dr. K. Elbs’a w tłumaczeniu polskiem K. Służewskiego „Akumulatory. Przystępny wykład ich działania, użycia i obchodzenia się z niemi” 1897, str. (9).

obie płyty *spolaryzowane* połączymy przewodnikiem, powstanie nowy prąd *polaryzacyjny*, w kierunku odwrotnym do prądu pierwotnego. Teraz dodatnia płyta redukuje się stopniowo na tlenek ołowiu PbO , zwany glejta, który pod wpływem kwasu siarczanego przechodzi w siarczan ołowiu ($PbSO_4$), odjemna zaś utlenia się i również pokrywa się siarczanem ołowiu. Przy słabnym natężeniu prąd trwa dopóty, aż całkowity zapas nadtlenu ołowiu wyczerpie się i płyty wrócą do pierwotnego stanu. Przez ponowne przesłanie prądu przez *ogniwo wtórne*, możemy je nanowo naładować; wtedy na płycie dodatniej znowu wytworzy się nadtlenek ołowiu, a na odjemnej siarczan ołowiu, wytworzony podczas ładowania, przejdzie w ołów rozdrobiony. Atoli prąd, tą drogą otrzymany, trwa zbyt krótko, by mógł mieć zastosowanie praktyczne; chcąc go przedłużyć, należy powiększyć zasób czynnego nadtlenu ołowiu.

Otóż Planté wpadł na myśl, by ogniwo powyższe poddawać w ciąg wielu tygodni, a nawet miesięcy kolejnemu ładowaniu i wyładowywaniu. Oprócz tego w tym czasie ogniwo kilkakrotnie ładuje się odwrotnie, t. j. prąd przesyła się w kierunku odwrotnym, a więc dawna blacha dodatnia zmienia się w odjemną. Za każdym nowym ładowaniem ilość nadtlenu z jednej strony i gąbczastego ołowiu z drugiej rośnie; skutkiem tego coraz większa masa ołowiu bierze udział w reakcyach chemicznych, rozluźnia się i przechodzi w masę porowatą, gąbczastą. W ten sposób *zdolność zachowywania (pojemność)* akumulatora powiększa się. Sprawę tę, zasadzającą się na kolejnem ładowaniu i wyładowywaniu, w celu powiększenia *czynnej masy* akumulatora, nazywamy *formowaniem*. W miarę tego, jak masa czynna powiększa się, jądro wewnętrzne, nietknięte ołowiu traci na grubości. Gdy jądro to zniknie całkowicie lub w znacznej części, płyty się rozsypują i ogniwo wtórne staje się nie do użytku. Płyty dodatnie, na których osadza się podczas ładowania nadtlenek ołowiu, zużywa się o wiele prędzej od odjemnych. A zatem akumulator tego rodzaju posiada *trwałość* ograniczoną, którą można powiększyć przez pogrubienie płyt.

Pierwsze akumulatory z płytami ołowianemi wyrobione zostały przez Planté'go w r. 1860, skutkiem jednakże powyższego mozolnego formowania były bardzo drogie i jako takie nie znajdowały powodzenia w technice. W r. 1881 Faure zrobił odkrycie, że owe tlenki ołowiane, jakie się tworzą przy sposobie Planté, osadzać można odrazu, mechanicznie na płytach ołowianych. W tym celu obie płyty oblepiał on gotowym tlenkiem, albo raczej mieszaniną tlenków ołowiu, zwaną w handlu minią, lub też płytę dodatnią oblepiał minią, a odjemną glejtą; podczas pierwszego, dłuższego nieco ładowania związki te przetwarzały się z jednej strony w nadtlenek, z drugiej w ołów gąbczasty.

Na początku więc przebiegu wytwarzała się odrazu większa ilość czynnej masy i formowanie kończyło się w krótszym znacznie czasie. Mimo to, akumulatory tą drogą otrzymywane miały wielką wadę, iż *masa czynna* nie trzymała się mocno

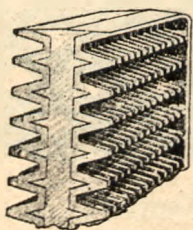


Fig. 219. Płytki ak. Tudor'a

jądra i opadała z łatwością, tembardziej, że rozluźniały ją jeszcze bardziej przenikające gazy. Wobec tego w praktyce płytom nadają formę krat albo żłobkują je w ten sposób, by przerwy można było wypełnić masą czynną, która następnie przetwarza się w nadtlenek ołowiu lub w ołów gąbczasty. Takie płyty są wytrzymalsze na działanie potężnego prądu i nie tak

łatwo psują się od wstrząśnięć. Całkowite żłobkowane płyty

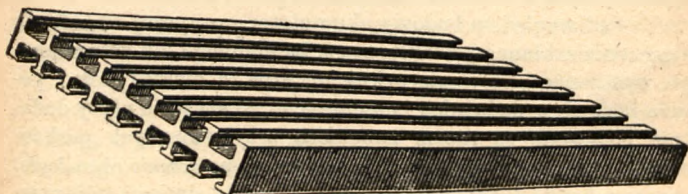


Fig. 220. Płyta ak. Khotinskiego.

znajdują się w akumulatorach Tudor'a, de Khotinsky'ego, *kratoice* — w akumulatorach Hagen'a, Correns'a i in.

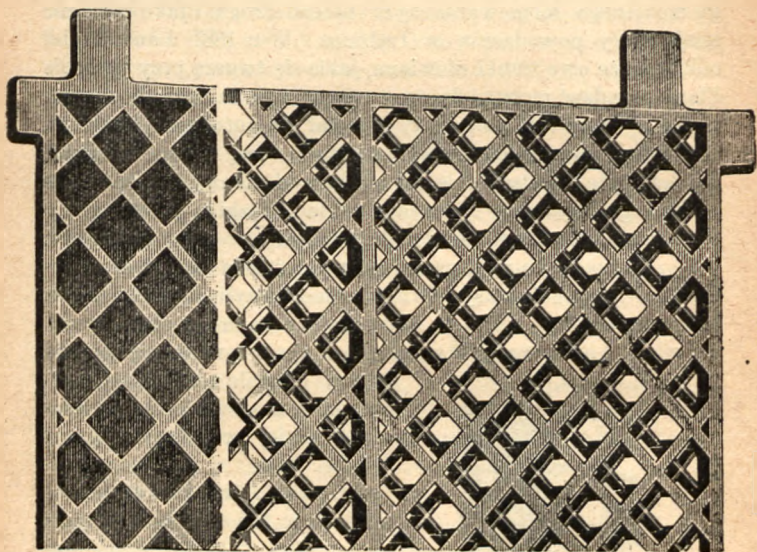


Fig. 221. Płyta od ak. Corrensa.

(prawa część niewypełniona, lewa wypełniona masą).

W praktyce płyty, nabite masą, podlegają jeszcze kilkakrotnemu ładowaniu i wyładowaniu, przez co masa czynna zespala się lepiej z metalem i pogłębia się.

Pod względem budowy akumulator zazwyczaj składa się z naczynia szklanego, ebonitowego, kamiennego lub drewnianego, wyłożonego ołowiem, w którym stoi (a niekiedy leży) pewna ilość płyt dodatnich i odjemnych. Wszystkie płyty dodatnie połączone są razem zapomocą przylutowanych pasków ołowiu, tak samo — wszystkie odjemne, *(połączenie równoległe)* przytem każda dodatnia mieści się pomiędzy dwiema odjemne-

mi. Przez to otrzymujemy jakby jedno ogniwo o jednej tylko płycie dodatniej i jednej ujemnej, z których każda co do powierzchni wyrównywa sumie powierzchni płyt pojedynczych. Każda płyta składa się masy czynnej ujętej w ramę z czystego ołowiu lub ołowiu stopionego z drobną ilością antymonu, w celu nadania mu twardości; forma płyty bywa najczęściej prosto-

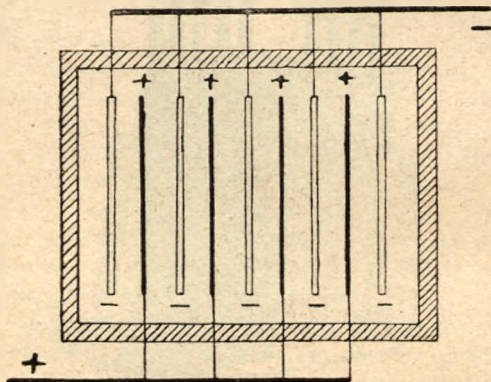


Fig. 222. Schemat połączenia płyt w akumulatorze.

kątna lub kwadratowa (niekiedy nakształt zwojów) z licznymi otworkami, zagłębieniami, żłobkami i t. p., w których leży masa czynna. Płyty dodatnie przedzielone są od sąsiednich, ujemnych, walcami izolującymi z gumy, ebonitu lub szkła, przytem nie stoją wprost na dnie naczynia, lecz opierają się na umyślnych podstawkach wąziutkich lub wiszą w tym celu, by okruchy masy wypełniającej, padając na dno, z czasem nie mogły utworzyć pomiędzy płytami sąsiednimi mostku przewodniego, co wywołałoby niewątpliwie wyladowanie wewnętrzne ogniwa. Przestrzeń między płytami wypełnia kwas siarczany rozcieńczony (z początku ładowania c. wł. 1,19, pod koniec 1,22; podczas wyladowania odwrotnie).

Siła elektromotoryczna ogniwa naładowanego wynosi około 2 v; opór zaś wewnętrzny zależy od odstępów między

plytami i wielkości pływ; już w niewielkich ogniwach opór wynosi około 0,01 oma, w większych znacznie mniej, bo ledwie 0,001 ω . W ciągu wyładowywania spada siła elektromotoryczna najpierw powoli, potem prędzej; jednocześnie rośnie opór we-

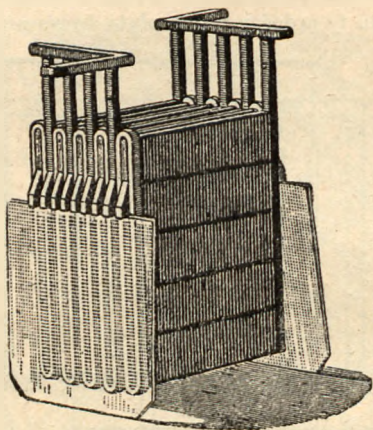


Fig 223. Układ w akumulatorze Khotinskiego.

wewnętrzny. Na 1,85 do 1,80 v wyładowywanie należy przerwać, chociaż stos nie jest jeszcze zupełnie wyczerpany, gdyż późniejszy spadek jest już o tyle szybki, iż urządzenie elektryczne z akumulatorami nie może dobrze funkcjonować.

Podczas ładowania akumulatorów E. M. S. rośnie najpierw szybko aż do 2 v, potem nieco wolniej i na 2,10 do 2,12 v zatrzymuje się przez czas dłuższy; wreszcie w ostatnim okresie znowu powolnie się podnosi aż do 2,5—2,6 v. Przez cały ten czas zapas tlenu ołowiu na płycie odjemnej ulega redukcji na ołów metaliczny. W końcu (około 2,2 v) zaczynają się ukazywać pęcherzyki gazu, które gdybyśmy zanalizowali, okazałyby się czystym tlenem i wodorem; pierwszy wznosi się przy płycie dodatniej, drugi przy odjemnej akumulatora. Jestto

dobitnym dowodem tego, iż przemiana chemiczna masy czynnej w ołów gąbczasty zbliża się ku końcowi i prąd w części zaczyna się zużywać na rozkład wody na jej składniki, tlen i wodór. *Burzenie* w akumulatorze, czyli wydzielanie się tlenu i wodoru, wzmacnia się; wreszcie masa całkowicie się przemienia i prąd doprowadzany służy jedynie do rozkładu wody. Następuje to mniej więcej przy sile elektromotorycznej 2,5 do 2,6 v. Granica t. zw. normalnego ładowania nie jest tak dobrze ustalona jak granica wyładowania. Gdy jedni utrzymują, iż wystarcza ładować do umiarkowanego wydzielania się gazu, inni zalecają przerywać ładowanie dopiero, skoro ciecz nabierze mlecznego wyglądu. W każdym jednak razie za kres normalnego ładowania dla większości typów uważać należy napięcie 2,40—2,45 v. Niewątpliwą też wskazówką jest koncentracja kwasu siarczanego (patrz str. 61), która wzmacnia się podczas ładowania i słabnie podczas wyładowywania; odpowiednio zmienia się ciężar właściwy kwasu, który łatwo daje się sprawdzić areometrem, zanurzonym w kadziach z ogniwami.

Największe natężenie prądu ładującego i wyładowującego w akumulatorach zależy od wielkości czynnej powierzchni elektrodów. *Ilość natężenia, przypadająca na jednostkę powierzchni płyty w akumulatorze, nazywamy gęstością prądu.* Gęstość prądu zarówno przy ładowaniu jak wyładowywaniu w ogólności nie może być za duża, gdyż przez to masa czynna rozluźnia się i traci spójność z jądrem. W pierwszym razie już na początku ładowania część prądu tracimy poprostu skutkiem wydobywania się gazów, w drugim razie ilość otrzymywanej elektryczności jest stanowczo mniejsza od tej, jaką otrzymujemy podczas wyładowania normalnego. *Największa normalna gęstość prądu* w akumulatorach stosowanych w instalacjach oświetlenia, podczas ładowania wynosi 0,4 do 0,6 a na 1 cm² powierzchni płyt dodatkich, podczas wyładowywania od 0,3 do 0,7 a na 1 cm². Naturalnie, mniejsze gęstości prądu są zupełnie możliwe, choć zbyt małej gęstości unikać należy, ponieważ czynność przedłużałaby się nad miarę.

Ztąd wynika, iż największe normalne natężenie prądu ładującego i wyładowującego zależy przedewszystkiem od całkowitej powierzchni płyt, chociaż w pewnym stopniu i od budowy. Gdy więc ogniwo, złożone z 10 płyt dodatnich, daje przy wyładowaniu najwyżej 35 a, inne, zawierające 20 płyt dodatnich tejże wielkości lub dziesięć płyt dwa razy większych, dać może 70 a. Mnożąc liczbę płyt i zwiększając ich powierzchnię, możemy dowolnie powiększać normalny prąd wyładowujący. Obecnie budują już akumulatory, których prąd wyładowujący dochodzi do 500 a.

Czas normalnego ładowania i wyładowania akumulatora, przy najwyższym dozwolonym prądzie, nie zależy od wielkości płyt, lecz wyłącznie od zdolności zachowania elektryczności przez dane płyty. A zatem w ogniwach rozmaitej wielkości, lecz tejże budowy, zarówno wyładowanie jak ładowanie trwa jednakowo długo, skoro tylko będziemy używali prądu jednakowej gęstości:

Iloczyn z największego dozwolonego prądu wyładowującego przez czas wyładowania zowie się pojemnością akumulatora. Ponieważ natężenie prądu wyrażamy w amperach, a czas w sekundach, przeto *pojemność* wyrażamy w *ampergodzinach*. Akumulator, który w ciągu 5 godzin potrafi dawać najwyżej 40a, posiada pojemność 200 ampergodzin.

Wydajność elektryczną akumulatora otrzymujemy, dzieląc liczbę otrzymanych przy wyładowaniu ampergodzin przez liczbę ampergodzin, pochłoniętych przy ładowaniu.

Przykład. Mamy baterję z 57 ogniw. Normalny prąd ładujący wynosi 40 a, normalny prąd wyładowujący 45 a. Znalezione doświadczalnie, iż ładowanie aż do napięcia 2,40 v dla jednego ogniwa, czyli 140 v dla wszystkich ogniw, trwa 5½ godzin, wyładowanie zaś aż do spadku 5—6% napięcia trwa 4,62 g. Wtedy do ładowania każdego ogniwa użyto

$$5,5 \times 40 = 220 \text{ ampergodzin};$$

przy wyładowaniu otrzymano

$$4,62 \times 45 = 208 \text{ ampergodzin.}$$

Wobec tego wydajność elektryczna danej baterii wynosi

$$\frac{208}{220} = 0,945 \text{ czyli } 94,5\%.$$

W ogólności wydajność akumulatorów powiększa się, jeżeli się je ładuje prądami słabszymi od maksymalnie dozwolonych. Ale to właśnie zmusza do budowania akumulatorów większych i powiększa koszt instalacji. Większość fabryk buduje akumulatory do prędkiego i do powolnego wyładowywania. Pierwsze znoszą większą gęstość prądu i płyty ich są tak budowane, by powierzchnia zetknięcia pomiędzy jądrem ołowianym a masą czynną była jak największa. Normalny czas wyładowania w tym wypadku wynosi $3\frac{1}{3}$ do $3\frac{1}{2}$ godzin, w ogniwach do powolnego wyładowywania 5—10 godzin. Wydajność tych ostatnich w ogólności jest większa.

Nareszcie wyładowanie akumulatora powinno następować najpóźniej w 24 g. po naładowaniu. Gdy naładowane akumulatory stoją długo bez użytku, wywiązują się pewne reakcje chemiczne między masą czynną a kwasem i przez nie część ładunku ginie; strata owa z czasem staje się coraz dotkliwszą. Naprz. gdy wyładowanie nastąpiło dopiero w tydzień po naładowaniu, strata rzeczona może wynieść 10% tej ilości ampergodzin, jaką otrzymać można w niespełna 24 godzin po naładowaniu.

Zresztą samo pozostawianie akumulatorów dobrze naładowanych na dni kilka nie szkodzi. Co innego, gdy akumulatory są wyładowane. Wtenczas na powierzchni płyt obficie wytwarza się siarczan ołowiu, skutkiem czego płyty odjemne nabierają nawet ciemniejszego wyglądu od dodatnich. Przez to pojemność akumulatorów znakomicie się zmniejsza, bo podczas ładowania siarczan częściowo tylko przechodzi w nadtlenek ołowiu i w ołów gąbczasty, przeważnie zaś nie rozkłada się wcale. Gdyby więc ładowania następne odbywały się tylko do granicy wskazanej, wypadłoby użyć zbyt wielu ładowań i wyładowań, by ogniwo nanowo wróciło do pojemności normalnej. Z tego powodu bezwarunkowo wystrzegać się należy pozostawiania akumulatorów wyładowanych na długo bez użytku. Nawet akumulatory częściowo tylko wyładowane nie są

wolne od wady powyższej. Należy więc za każdym razem, gdy bateria ma długo pozostawać beczynną, naładować ją doskonale, a wrzeczy gdyby beczynność potrwać miała dłużej, powtarzać ładowanie aż do normy w odstępach najmniej 14-dniowych.

Baterię, w której skutkiem niewłaściwego postępowania wytworzyło się tyle stałego siarczanu ołowiu, iż pojemność zmalała wyraźnie, w krótkim czasie można przywrócić do stanu normalnego przez t. zw. przeładowanie, czyli ładowanie powyżej kresu normalnego. Przez to siarczan ołowiu, przylegający do płyt, przechodzi nanowo w nadrtlenek ołowiu i ołów metaliczny. Dzieje się to skutkiem energicznego działania, jakie obficie wydzielające się gazy tlen i wodór wywierają w stanie tworzenia się (in statu nascendi) na siarczan ołowiu. W większości wypadków wystarcza ładowanie ponad normę tak długo, jak trwa ładowanie normalne. Gdyby jednak to nie wystarczało, lepiej jest wyladować baterię a potem poddać ją nanowo przeładowaniu, niż przeciągać to ostatnie nazbyt długo.

Częste wyladowywanie przez prąd zamocny, przeładowywanie, rzadkie ładowanie, albo ładowanie częste lecz tylko częściowe, pozostawianie na długo akumulatorów wyladowanych bez użytku lub niedolewanie kwasu, mogą zepsuć ogniwa nawet najlepiej zbudowane. Najlepiej, rozumie się, działa bateria, jeżeli pracuje prawidłowo, t. j. jeżeli ładowanie i wyladowywanie następuje po sobie w krótkich odstępach czasu i mniej więcej w warunkach jednakowych.

Trwałość płyt odjemnych, zdaje się być bardzo wielką, dodatnie zaś nawet przy pracy normalnej trwają lata całe dopóty, aż jądro ołowiane przejdzie w znacznej części w masę czynną i płyta przez to utraci swoją wytrzymałość mechaniczną oraz pożądane przewodnictwo elektryczne. Płyty dodatnie dobrej konstrukcyi, o jądrze ołowianym dość grubym, w razie dobrego obchodzenia się trwać mogą 5—10 lat; atoli w praktyce może się wydarzyć trwałość większa. Trwałość płyt odjemnych jest znakomicie większa, prawie nieograniczona.

Sposoby łączenia ogniw wtórnych z dynamaszynami, regulację i mierzenie natężenia i napięcia prądu opuszczamy jako zbyt specjalne.

Jeżeli chcemy rozłożyć znaczne ilości wody i zebrać oddzielnie wydzielające się gazy, powinniśmy użyć przyrządu, który przedstawia załączona figura 224.

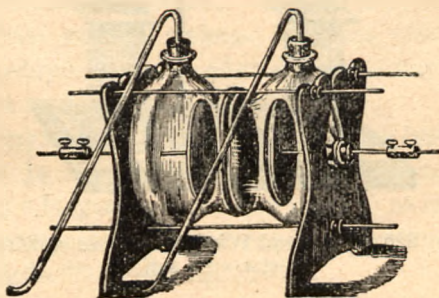


Fig. 224 Przyrząd do rozkładania znacznych ilości wody i zbierania gazów oddzielnie.

Kiedy wydzielone tą drogą tlen i wodor zebrane zostały razem w mocnym i szczelnym naczyniu, przepuszczamy przez nie iskrę elektryczną; wtedy gazy owe natychmiast łączą się ze sobą nanowo z wybuchem i tworzą wodę.

Do elektrolizy roztworów soli przydatnym okazał się przyrząd Wiedemanna, okazany na figurze 220, który celem dokładnego mierzenia wytwarzanych gazów, opatrzone bywa jeszcze w rurki podzielone.

Tutaj zaznaczyć musimy ważny wynik, iż ilość gazu rozłożonego na sekundę jest prostą miarą średniego natężenia prądu, przebiegającego przez obwód, atoli w szczególności tego badania oraz rozmaitych praw elektrolizy wda-

wać się tymczasem nie możemy, gdyż są to rzeczy przekraczające zakres kursu początkowego.

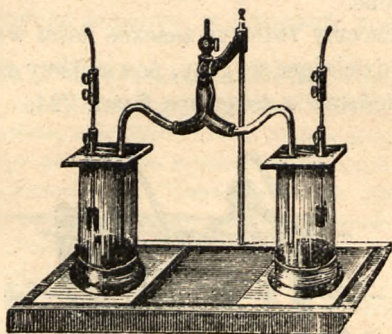


Fig. 225. Przyrząd Wiedemanna do elektrolizy roztworów soli.

Galwaniczne pokrywanie metalami. Przez wyrażenie powyższe rozumiemy sposób lub sztukę osadzania na powierzchni metalowej zapomocą prądu elektrycznego warstwy metalu z roztworu, który go zawiera.

Metal, zawarty w roztworze, zawsze osadza się na elektrodzie odjemnym, czyli na katodzie. Innemi słowy, metal przesuwa się zawsze z prądem „na dół”, zupełnie jak to widzieliśmy w razie elektrolizy wody, kiedy wodór posuwał się z prądem na dół i ukazywał się na tym elektrodzie, przez który prąd opuszcza woltametr. Kiedy osadzamy złoto na innym metalu nieszlachetnym, przebieg ten zowie się sposobem galwanicznego albo elektrycznego złocenia. W wypadku galwanicznego złocenia lub srebrzenia jakiegokolwiek przedmiotu na drodze elektrycznej, zawsze brane są roztwory alkaliczne, do rozpuszczania zaś w ogół-

ności używa się cyjanku tego metalu, który ma być osadzonym; elektrodem dodatnim jest blacha złota lub srebrna. Blacha ta przez działanie prądu rozpuszcza się w roztworze w tym samym stosunku, w jakim metal osadza się w roztworze, tak, że ilość metalu istniejąca w roztworze nie zmienia się bardzo w ciągu całego przebiegu.

Doświadczenie XXXVI. Przypuśćmy, iż chodzi o pokrycie łyżki żelaznej srebrem; wówczas musimy ją poprzednio pokryć miedzią, gdyż srebro nie trzyma się dobrze wprost na żelazie*).

1. Oczyszcmy więc najpierw starannie łyżkę żelazną i zawieśmy ją zapomocą drutu lub wstęgi przewodzącej (połączonej z biegunem odjemnym baterji) na izolowanym wálku metalowym w naczyniu, zawierającym rozpuszczony siarczan miedzi**) (Patrz fig. 226)

2. Zawieśmy na innej również izolowanej podpórcie metalowej nawprost łyżki w roztworze czystą blachę miedzianą i połączmy ją z biegunem dodatnim baterji, która powinna dawać pomiędzy swojemi końcówkami dwa lub trzy volty wolnej E. M. S. albo różnicy potencjału.

3. Skoro łyżka pokryła się cienką i twardą warstwą miedzi, wyjmujemy ją z kąpieli, oczyszczamy i polerujemy aż do świecenia tak, aby znikły wszystkie rysy.

*) Szczegóły przebiegu, dotyczące oczyszczania, oraz szybkości osadzania się miedzi, srebra, złota, niklu i t. d. znaleźć można w „Kalendarzu” Uppenborna r. 1897, cz. II, str. 129—134; Langbein, „Handbuch der galv. Metallniederschläge“ 1889.

**) Nasycony roztwór siarczanu miedzi, do którego dodaje się czwartą część wody na objętość i $\frac{1}{10}$ na objętość wotry-oleju czyli mocnego kwasu siarczanego.

4. Zanurzamy łyżkę żelazną, pokrytą miedzią, w kąpieli, zawierającej roztwór srebra *) i czystą blachę srebrną, łączymy obie z baterią tak, jak wskazuje załączona (fig. 226).

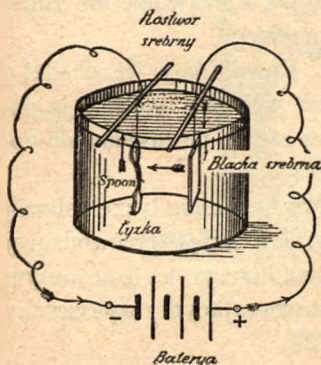


Fig 226. Galwaniczne srebrzenie łyżki.

5. Przepuściwszy prąd dłużej lub krócej, stosownie do tego, czy pragniemy mieć cieńszą lub grubszą powłokę srebra, wyjmujemy łyżkę z roztworu, czyścimy i polewujemy do białości tak, że w końcu otrzymuje się pięknie lśniący przedmiot, przydatny do wszelkich potrzeb i celów i z pewnością o wiele trwalszy od tych, które robione są z czystego srebra.

Nie tylko metale, lecz większość ciał stałych daje się pokrywać niklem, srebrem, złotem etc., jeżeli ich powierzchnia zostanie powleczone najpierw grafitem lub ołówkiem sproszkowanym, a potem zanurzona w galwanicznej kąpieli miedzianej a później w srebrnej, nikłowej lub złotej, jak to objaśniliśmy wyżej. Przedmioty naturalne, jak kwiaty, liście, paproć, owady etc. przedstawiają się bar-

*) Roztwór srebra daje bardzo dobre osady, jeżeli się go sporządza z 2 cz. cyjanku srebra, rozpuszczonych w 10 cz. roztworu potasu i rozcieńczonych czystą wodą tak, aby na 1 litr płynu przypadało blisko 14 gr. srebra (1 g cyjanku srebra zawiera 0,74 g srebra).

dzo wdzięcznie, skoro zostaną pokryte i zabarwione rozmaitemi metalami. Rzeczy te dają się pokryć mechanicznie grafitem, ale mogą być do tego przysposobione przez uprzednie zanurzenie w pewnym roztworze, który może je albo przenikać albo tworzy na nich doskonałą warstwę pewnego ciała, przyjmującą potem cienką powłokę srebra lub złota*).

Elektrotypia. Nazwa elektrotypia albo galwanoplastyka zastosowana była do sposobu lub kunsztu odtwarzania zapomocą prądów elektrycznych (zazwyczaj na miedzi) monet, czcionek drukarskich, drzeworytów tudzież innych przedmiotów, które nie znoszą ucisku. Większość rysunków w kosztowniejszych wydaniach książek odbija się zapomocą miedzianych płyt galwanoplastycznych albo klisz, jak je niekiedy nazywają. Przebieg ten odbywa się jak następuje.

Doświadczenie XXXVII. Pierwsza czynność polega na oczyszczeniu monety, litery lub drzeworytu, bo nawet plama od palca pozostawiona na nich powoduje w elektrotypii zepsucie miejsca.

Powtórę. Należy wykonać trwały wycisk przedmiotu z wosku pszczelnego, gutaperki lub gipsu (co do monet można brać nawet odlewy stearynowe) i pokryć starannie powierzchnię wycisku cienką powłoką grafitu rozproszanego zapomocą penzla z włosia wielbłądziego, co wytwarza jednostajną powierzchnię przewodzącą, bacząc je-

*) Sposoby zachowania się w takich wypadkach znajdziesz na str. 338 w Munro i Jamiesona „Pocket-Book of Electrical Rules and Tables”.

dnocześnie troskliwie, by delikatniejsze kreski lub wgłębienia przytem się nie zatarty.

Potrzenie. Tak sporządzony wycisk wieszamy jako elektrod odjemny albo katod w roztworze siarczanu miedzi *).

Poczwarte. Następnie w roztworze zawieszamy anod w postaci czystej płyty miedzianej i puszczaemy prąd przez obwód (zupełnie jak to uczyniliśmy, pokrywając żelazną łyżkę miedzią) dopóki nie osiągniemy osadu miedzianego żądanej grubości.

Popiąte. Teraz wyjmujemy katod z kąpieli elektrolitycznej albo ogniwa i ostrożnie zdejmujemy powłokę miedzianą z jej podkładu woskowego lub gipsowego.

Poszóste. Chcąc otrzymać klisze galwanoplastyczne albo elektrotypy do drukowania książek, na które podczas drukowania wywierane bywa mocne ciśnienie, odwrotną stronę cienkiej powłoki miedzianej należy pokryć miękkim lutem a na to nalać ochronnej warstwy stopionego białego metalu na grubość 3 lub więcej mm, który prędko zastygą i mocno przylega do lutunku pokrywającego cienką kliszę. Odwrotną stronę białego metalu wyrównywa się doskonale i całość przytwierdza się na kawałku twardego drzewa, zwykle mahoniowego. W ten sposób robią się klisze galwaniczne, dające 100,000 lub więcej zupełnie wyraźnych odbitek, gdy miękkie odlewy metalowe lub odlane płyty stereotypowe wytrzymują najwyżej 10,000 odbitek. Jeżeli tylko spodziewać się można, iż książka wymagać będzie 100,000 lub więcej odbitek, sposobem

*) Patrz odnośnik na str. 69.

elektrotypów sporządza się nie tylko figury ale cały skład czonek, zanim jedna odbitka książki zostanie w świat wypuszczona; jeżeli figury mają być bardzo ładne, warstwa miedzi powinna być szczególnie gruba i twarda. Prędkość osadzania się miedzi stanowi o twardości kliszy. Im mniejszą jest gęstość prądu użytego (czyli ilość amperów przypadająca na decymetr kwadratowy katodu), tym twardszą jest warstwa miedzi na katodzie.

UWAGA. Jeżeli pragniemy sporządzić odbitki galwanoplastyczne z mniejszych przedmiotów, naprz. z monet, robimy do tego stosowny przyrząd w sposób następujący. Od cylindra szklanego odbijamy denko zapomocą żarzącego się węgielka, co daje nam pierścień R (patrz fig. 227), 6 cm

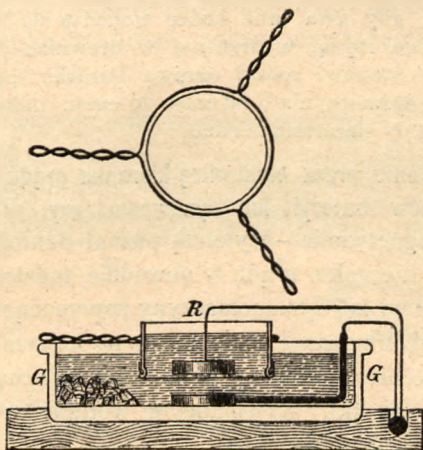


Fig. 227. Prosty przyrząd do galwanoplastyki.

wysoki. Brzeg pierścienia obwiązujemy wtedy mocnym papierem pargaminowym (zwilgoconym), poczem wysu-

szywszy naczynie, kitujemy starannie szpary woskiem pieczętarskim. Obrączkowe to naczynie ściskamy albo pierścieniem zrobionym z trzech kawałków drutu miedzianego miękkiego 2,5 mm, których końce skręcone zostały tak, jak wskazuje dodatkowa figura, lub też w celu przymocowania przytwierdzamy do brzegów trzy kawałki laku. Na laku tym zawieszamy naczynie nasze w większym, płaskim naczyniu G. Następnie do R wpuszczamy kawałek cynku amalgamowanego i nalewamy bardzo rozcieńczonego kwasu siarczanego, albo po prostu wody; wprowadzamy do G odpowiednio przygotowaną formę, z której pragniemy otrzymać wycisk, i nalewamy stężonego roztworu kopperwasu miedzianego. Części zanurzone drutów przewodzących, przymocowanych do cynku i formy, pokryte są woskiem lub gutaperką, gdy dwa inne końce wchodzą do miseczki napełnionej rtęcią, wydrążonej w drewnianej podstawie. Całość stanowi rodzaj ogniwa Daniella (patrz wykład XX). Do naczynia G od czasu do czasu należy wrzucać kryształy siarczanu miedzi.

Określenie przez elektrolizę kierunku prądu w obwodzie oraz biegunów baterji lub dynamomaszyny. Z rozdziału o elektromagnetyzmie—czytelnik poznał dokładnie sposób oznaczania kierunku prądu w obwodzie tudzież biegunów ukrytej baterji lub dynamomaszyny zapomocą ruchów igły kompasowej, trzymanej obok drutu, po którym prąd przebiega. Obecnie pokażemy, że to samo osiągnąć możemy obserwując skutki, wywołane w woltametrze wodnym lub ogniwie elektrolitycznym.

Doświadczenie XXXVIII. Przedewszystkiem, jeżeli połączymy druty przewodzące, idące od generatora prądów elektrycznych, które mogą rozłożyć wodę, do elektrodów woltametru wodnego (porównaj figury 218 i 224), po kilku

ledwie minutach postrzeżemy, iż na jednym z elektrodów wydzielają się większe ilości gazu, z czego wnosimy, że musi to być strona, gdzie wytwarza się wodór, słowem, gdzie prąd opuszcza woltametr. A zatem *biegun generatora, połączony z tym elektrodem odjemnym, musi być biegunem odjemnym.*

Powtóre. Gdy rozpuścimy kilka kryształów jodku potasu w wodzie, dodając do niej nieco krochmalu, a potem przez roztwór przepuścimy prąd, tedy jod, wyzwalaający się na anodzie, działając na krochmal, nada mu niebieskie zabarwienie. W ten sam sposób można wskazać odrazu drut idący do dodatniego bieguna generatora.

Według tej zasady pp. Woodhouse i Rawson zbudowali przyrząd kieszonkowy, nadzwyczaj poręczny, do po-

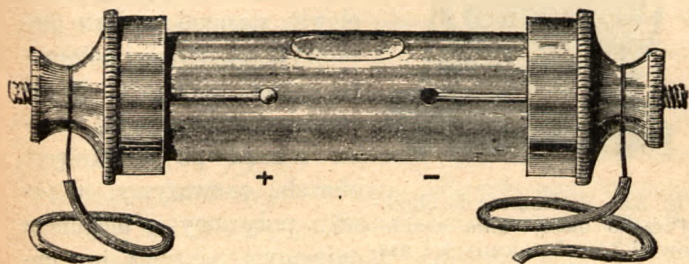
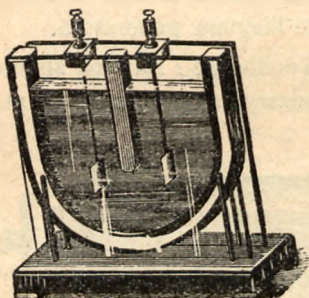


Fig. 228. Wskaźnik biegunów w bateriach i dynamomaszynach pp. Woodhouse'a i Rawson'a (wielkość nat.).

szukiwania kierunku prądu ciągłego. Składa się on z płynu białego, przezroczystego, zawartego w rurce szklanej, której końce wpuszczone są w osady metalowe (fig. 228). Nazewnątrż wychodzą zwykle śrubki krańcowe, służące

do przytwierdzania drutów idących od generatora. W rurce znajdują się dwa druciki platynowe, pomiędzy którymi znajduje się około 2 cm płynu. Podczas przechodzenia prądu ciecz się rozkłada i *biegun odjemny* skutkiem elektrolizy cieczy natychmiast otrzymuje zabarwienie purpurowe. W chwili przerywania prądu rozłożony związek szybko nanowo rozpuszcza się w płynie i biała barwa cieczy przywraca się nanowo *).

Potrzenie. Bierzemy zwykłą szklaną, flaszkę o dwóch szyjkach lub inne naczynie formy stosownej naprz. takie



jak na fig. 229, napełniamy je w trzech czwartych roztworem siarczanu miedzi i umieszczamy w nim równoległe do siebie dwa wąskie paski ołowiu, starannie wytarte piaskowym papierem i połączone drutem wiodącym do generatora prądu; wtedy, w kilka sekund po zamknięciu

Fig. 229. Woltametr do obiektywnego okazywania roskładów elektrochemicznych i osadów lub też do poszukiwania biegunów generatora prądów.

obwodu, zauważymy, iż paski, połączony z biegunem odjemnym, pokrywa się cienką warstewką błyszczącej

*) Zupełnie tak samo urządzony jest poszukiwacz biegunów Berghausen'a. Ciecz oprócz pewnej soli zasadowej zawiera jeszcze fenoltaleinę, która w wydzielającej się zasadzie rozpuszcza się na biegunie odjemnym, dając zabarwienie purpurowe. Zupełnie miarodajnym jest i *papierek odczynnikowy* do wskazywania biegunów (bibuła nasyciona podobnym roztworem) znany w handlu jako papier dr. Maya.

czerwonej miedzi. Jestto jeden z najdogodniejszych i najlepszych sposobów rozpoznawania bieguna (—) dynamomaszyny, lub akumulatora, w tych razach gdy ten ostatni ma być ładowany z pierwszej; nie zawsze bowiem dogodnie jest i bezpiecznie przepuszczać przez krótki drut prąd o niewiadomym natężeniu w celu badania go igłą kompasową. Kawalki platyny, miedzi lub cyny nadają się do tego celu tak samo jak dwa paski ołowiane, atoli faktem jest, iż ołów łatwiej można dostać, formować i oczyszczać. Zamiast rozpuszczonego siarczanu miedzi możemy wziąć słaby kwas siarczany. W tym wypadku pasek ołowiu, połączony z biegunem (+) generatora, utlenia się i *ciemnieje*, gdy prąd przezeń przechodzi. W rzeczy samej układ dwóch pasków ołowianych i kwasu siarczanego tworzy małe ogniwo wtórne, charakterystyczna zaś barwa *brunatna* płyty + takiego ogniwa wytwarza się w prosty sposób przez to, że przez ogniwo to przesyłamy prąd.

Wiadomości historyczne. Elektroliza była odkryta już r. 1807 przez Davy'ego i używana do rozkładu soli metalicznych. Atoli najważniejsze odkrycie tego uczonego nosi datę r. 1807, gdy podczas elektrolizy stopionego potażu gryzącego i sody otrzymał on na biegunie odjemnym małe kulki metalowe, o połysku srebrnym, pływające po wodzie i szybko się nanowo utleniające z wytwarzaniem ognia. Tym sposobem Davy odkrył potas i sól. Wkrótce po tym odkryciu nastąpiło odkrycie metali barytu, strontu i wapnia. *Prawa* elektrolizy znalezione zostały dopiero 1833 i 1834 przez Faraday'a, ucznia Davy'ego. Na podstawie jego badań i na skutek prac liczego zastępu ba-

daczy (zwłaszcza Poggendorff'a, Hittorfa, G. Wiedemann'a), elektrochemia stopniowo wzrosła do tej wyżyny, na jakiej stoi obecnie. Z praktycznych jej zastosowań najpierw została wynaleziona *galwanoplastyka* przez Jacobi'ego (1839). Pierwszą *baterię wtórną* o elektrodach ołowianych zbudował i zastosował Planté (1860).

Faraday'a prawa elektrolizy. Z dokładnych badań chemicznych, pomiarów i ważeń ilości otrzymanych gazów i osadów wyprowadził Faraday prawa następujące:

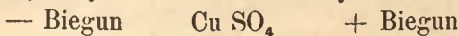
Prawo pierwsze Faraday'a: *Ilość ciała, rozłożonego w ciągu danego czasu przez elektrolizę, jest proporcjonalną do natężenia prądu.*

Prawo drugie Faraday'a: *Ilości rozmaitych ciał, rozłożonych w ciągu tego samego czasu przez ten sam prąd, są proporcjonalne do równoważników chemicznych tych ciał.*

Działania proste i uboczne (wtórne) w elektrolizie. Jeżeli w naczyniu używanym do rozkładania znajduje się jedno tylko ciało złożone, gdy więc przez elektrolizę rozkładamy np. stopiony chlorek wapnia (Ca Cl_2), wtedy *skutkiem prostego działania* otrzymujemy na biegunie odjemnym wapień metalowy Ca, zaś na dodatnim dwa atomy wolnego chloru (2 Cl), które uchodzą w postaci gazu o barwie zielonawej.

Inaczej przecież kształtują się stosunki dla tych rozтворów soli, w których obok *soli rozpuszczonych* znajduje się jeszcze rozpuszczalnik tychże, *woda*. Tutaj zdarza się często, iż jony wydzielone, skoro tylko wyzwolą się, działają ze swojej strony (in statu nascendi) na środek rozpuszczający lub w pewnych razach na elektrody i przez to

powodują wytwarzanie się zjawisk złożonych, które nazywamy *działaniami wtórnymi*. Te ostatnie zachodzą niekiedy tylko na *jednym* biegunie naprz. na dodatnim, jeżeli roztwór siarczanu miedzi podlega elektrolizie wobec elektrodów platynowych. Wówczas mamy:

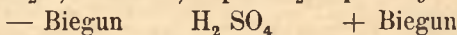


wydziela się Cu

SO₄ napotyka wodę H₂O i H₂SO₄, zaś O uwalnia się

A zatem na biegunie (—) otrzymujemy miedź metaliczną, na biegunie (+) kwas siarczany i tlen. Gdy biegun + składa się z miedzi, wtedy SO₄ łączy się z miedzią, dając nanowo Cu SO₄, który się rozpuszcza. Wtedy na biegunie (+) nie otrzymujemy nic wyraźnego.

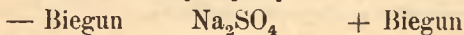
Podobnie tłumaczy się t. zw. *rozkład wody* czyli elektroliza wody *zakwaszonej*. Początkowo prąd rozkłada nie wodę H₂O, ale kwas, naprz. H₂SO₄. Daje to



H₂ wyzwala się

SO₄ napotyka H₂O i tworzy H₂SO₄, zaś O wyzwala się

Te działania wtórne mogą występować i na obu biegunach naprz., jeżeli poddajemy elektrolizie sól glauberską Na₂SO₄. Wówczas otrzymujemy



Na₂ napotyka wodę i daje 2 Na OH (soda gryząca), podczas gdy H₂ wyzwala się

SO₄ napotyka wodę i tworzy H₂SO₄ zaś O wyzwala się.

A więc oprócz rozkładu kwaśnego siarczanu sodu na sodę gryzącą i kwas siarczany zachodzi jeszcze jakby rozkład wody na wodór i tlen. Zresztą absolutnie czysta woda prawdopodobnie prądu wcale nie przewodzi.

Inne uboczne działania polegają na *dyfuzji*, na którą prąd elektryczny wpływa w sposób szczególny i wytwarza zmiany w koncentracji roztworu. Przytem przez porowate przegrody pod wpływem prądu elektrycznego zachodzi niekiedy *endosmoza*, naprz. przez porowatą piankę ogniwa przedostaje się siarczan miedzi w kierunku prądu tak, że przy blasze bieguna odjemnego obserwujemy zwiększenie się cieczy.

Mierzenie prądu zapomocą woltametr. Na mocy prawa Faraday'a, woltametr można użyć do tego, by oznaczać natężenie prądów elektrycznych z ilości ciał, wydzielonych w drodze elektrolizy. W praktyce do tego celu korzystają: 1) z ilości gazu piorunującego, wydzielonego z rozcieńczonego kwasu siarczanego w czasie określonym (1 minuta) --- jest to *woltametr o gazie piorunującym*; 2) z ciężaru srebra, osadzonego z azotanu srebra, — jest to *woltametr srebrny*; 3) z ciężaru miedzi, wydzielonej z roztworu siarczanu miedzi—jest to *woltametr miedziany*; 4) z ciężaru cynku osadzonego z siarczanu cynku na odjemnej płycie cynkowej, albo z cynku, rozpuszczonego na płycie dodatniej—jest to *woltametr cynkowy*.

Woltametr ostatniego rodzaju użył naprz. Edison do wykazania zużycia prądu w instalacjach oświetlenia elektrycznego.

W pierwszym woltametrze*) zbieramy nad wodą w odpowiednio podzielonym cylindrze szklanym albo oba gazy uchodzące razem albo sam tylko wodór. 1 amper wytwarza na 1 minutę 10,43 cm suchego gazu piorunującego (6,95 cm³ wodoru) przy 0° i 760 mm ciśnienia barometrycznego.

Przykład. Przez busolę stycznych wspomnianą na str. 303 i woltametr o gazie piorunującym przesyłamy prąd w ciągu 13 minut. Przez ten czas przy ciśnieniu barometrycznym 732 mm (zredukowanym) i temperaturze 11,4° C. otrzymano 305 cm³ gazu, gdy busola stycznych przeciętnie dawała odchylenie 25°. Jak wielkimi są: a) ilość gazu suchego, sprowadzonego do 0° i 760 mm; b) natężenie prądu w amperach; c) współczynnik redukcyjny busoli stycznych?

a) Ciśnienie suchego gazu podług prawa Daltona, wobec tego, że prężność pary wodnej, nasyconej przy 11,4° wynosi 10 mm, jest 732 — 10 = 722 mm. Według tego

$$\text{Objętość zredukowana} = \frac{305}{1 + 0,00367 \cdot 11,4} \cdot \frac{722}{760} = 278,1 \text{ cm}^3;$$

b) na 1 m przypada więc 278,1 : 13 = 21,39 cm³, ztąd

natężenie prądu = 21,39 : 10,43 = 2,051 ampera;

c) ponieważ tang 25° = 0,4663, przeto ostatecznie

współczynnik zamiany = 2,051 : 0,4663 = 4,398 ampera,

co z wartościami znalezionymi poprzednio dostatecznie się zgadza (por. str. 304).

Woltametr srebrny przy ściślejszych pomiarach do określenia współczynnika zamiany w bardziej dokładnych galwanometrach. Składa się on z obszernej miseczki platynowej, połączonej z odjemnym biegunem generatora prądu elektrycznego, do której nalewa się roztworu azotanu srebra. Statywa me-

*) Bardzo odpowiedni przyrząd tego rodzaju do prądów aż do 50a zbudował Kohlrausch (wyrabia firma Hartmann i Brown w Bockenheime pod Frankfurtem n. M.).

talowa dźwiga na grubym drucie srebrnym płytkę srebrną (obwiniętą w bibułę), przez którą prąd wchodzi do cieczy. Wtedy srebro wydziela się w postaci drobnych ziarenek krystalicznych, które tak mocno przylegają do ścianek miseczki platynowej, że, po ukończeniu doświadczenia, dają się zmywać wodą dystylowaną i ostrożnie suszyć nad płomieniem bez odpadania. Waży się miseczkę przed i po doświadczeniu i ztąd określa wagę osadzonego srebra. *1 amper wydziela na 1 m. 0,0671 g srebra.*

Przykład. I rzez galwanometr skręceń, połączony z woltametrem srebrnym, w ciągu 1 godziny przepuszczano prąd. Średnie skręcenie wynosiło 110,56 podziałek skali. Miseczka platynowa ważyła przed doświadczeniem 41,1285 g, potem 41,6140 g.
a) Jak wielkiem było natężenie prądu? b) Jakie natężenie prądu odpowiada skręceniu 100 podziałek skali?

a) Srebro wydzielone waży 0,4855 g. Według tego natężenie prądu = $0,4855 : 0,0671 \cdot 60 = 0,1206$ a.

b) Spółczynnik zamiany = $0,1206 \cdot \frac{100}{110,56} = 0,109$ a.

Nareszcie co dotyczy użycia obu innych woltametrów, pamiętać należy, iż *1 amper na 1 minutę osadza 0,0197 g miedzi i 0,0202 g cynku.*

Pytania do wykładu XXII.

1. Co wiesz o prądzie voltaicznym?
2. Jak wykonasz doświadczenie z rozkładem wody przez prąd elektryczny? Zrób szkic tego urządzenia i oznacz, gdzie się ukazały rozmaite części składowe wody, oraz jakie będą stosunkowe ich objętości.
3. Dlaczego do rozkładu wody potrzeba mieć więcej niż jedno ogniwo Daniella?
4. Powiedz, co rozumiesz przez związek i rozkład chemiczny, objaśniając uwagi swoje na podstawie wytwarzania się rozkładu wody.

5. Wskaż dobry przykład na związek i rozkład chemiczny wykonany zapomocą jednego i tego samego prądu.

6. Kawałek platyny ma być pokryty miedzią zapomocą baterji woltaicznej. Opisz jakiegokolwiek urządzenie, służące do tego celu.

7. Z baterji woltaicznej jednocześnie przesyłamy prąd przez cienki drut i przez słaby kwas siarczany, umieszczone za sobą w obwodzie. Co się stanie z drutem i rościeńczonym kwasem i jakie zmiany (jeśli tylko będą) w nich zajdą, jeżeli przemienimy połączenie z baterją, tak że kierunek prądu w drucie i cieczy będzie inny?

8. Blacha platynowa i miedziana zanurzone zostały w roztworze siarczanu miedzi. Jakie działania wystąpią na nich, jeżeli przez ciecz przesłany będzie prąd od miedzi do platyny?

9. Koniec drutu miedzianego przytwierdzono do miedzianego końca baterji a koniec innego drutu miedzianego do cynkowego końca baterji. Co się stanie gdy dwa inne końce tych drutów będą wpuszczone do roztworu siarczanu miedzi obok siebie (ale bez zetknięcia)?

10. Dwa druty miedziane — jeden połączony z jedną końcówką baterji woltaicznej, drugi z drugą końcówką tejże — zostały zanurzone w roztworze siarczanu miedzi, ale bez zetknięcia. Co nastąpi w częściach zanurzonych drutów.

11. Masz przystęp do miedzianych drutów, wiodących do końcówek ukrytej baterji. Objaśnij, w jaki sposób mógłbyś wskazać, który z tych drutów połączony jest z biegunem - cynkiem, a który z biegunem - platyną baterji, mając na uwadze to co się dzieje w naczyniu, zawierającym roztwór siarczanu miedzi, gdy końce tych drutów jednocześnie zostaną w nim zanurzone?

12. Dwie płyty miedziane, jednakowo ciężkie, połączone zostały jedna z dodatnim, druga z odjemnym biegunem baterji woltaicznej i zanurzone obok siebie w roztworze siarczanu miedzi. Gdy po niejakim czasie płyty zostały wyję-

te, wysuszone i zanurzone powtórnie, znaleziono, iż ciężar ich się nie zmienił.

13. Płyty miedziana i platynowa zostały zanurzone w siarczanie miedzi. Prąd przesłano od miedzi do platyny. Opisz następstwa; to samo uczyn w razie, gdy prąd został odwrócony.

14. Prąd elektryczny (jednakowy we wszystkich częściach naczynia) biegnie poziomo w naczyniu, zawierającym siarczan miedzi. Wtedy poziomo i równoległe do kierunku prądu przebiegającego wprowadzono do naczynia sztabę miedzianą. W jaki sposób prąd oddziaływa na sztabę?

15. Jeżeli zanurzymy dwie płyty, cynkową i platynową, połączone drutem, w jednym naczyniu, zawierającym roscieńczony kwas siarczany, czy prąd elektryczny będzie przebiegał po drucie? Opowiedz i uzasadnij działanie w tym razie, gdy jedną z płyt zanurzymy w oddzielnym naczyniu z kwasem.

16. Jak się zwykle odosobniają druty, przewodzące prąd galwaniczny? Co znaczy wyraz izolacja?

17. Jak brzmią oba prawa elektrolizy, dane przez Faraday'a?

18. Co to są działania wtórne? Daj przykłady na nie.

19. W jaki sposób użyć można elektrolizy do mierzenia natężenia prądu. Jakiego rodzaju woltametrów do tego bywają stosowane?

WYKŁAD XXIII.

Treść: Prawo Joule'a. — Określenie skutku prądu. — Absolutne jednostki oporu i siły elektromotorycznej. — Praktyczne jednostki oporu i siły elektromotorycznej. — Absolutne oznaczenie oporu zapomocą kalorymetru. — Chwilowa E. M. S. wzbudzona w elemencie przewodnika przez jego ruch w polu magnetycznem. — Inne określenie jednostki E. M. S. — Inna forma zasadniczego prawa indukcji. — Indukcja w przewodnikach zamkniętych. — Prąd całkowity wzbudzony. — Określenie przez indukcję absolutnej jednostki oporu i oma. — Określenie natężenia pól magnetycznych zapomocą prądów indukcyjnych. — Wzorce oporowe. — Pytania.

Prawo Joule'a. Prawo to już ogłosiliśmy na str. 43 i stwierdziliśmy zapomocą doświadczeń. Teraz spróbujemy powtórzyć je raz jeszcze w formie następującej:

Prawo Joule'a. *Ilość ciepła, wytworzonego przez prąd w ciągu danego czasu w przewodniku, jest proporcjonalna do iloczynu z czasu przez natężenie prądu podniesione do kwadratu i przez opór przewodnika prądu.*

Ilość ciepła mierzy się zapomocą *jednostek ciepła* albo *kaloryj*, których wartość została ustaloną na str. 40. Podług tego, jeżeli ilość ciepła oznaczymy przez Q , natężenie prądu przez i , opór przez w , czas przez t i wprowadzimy stałą a , możemy napisać

$$Q = ai^2 wt$$

gdzie a zależy od wyboru jednostek Q , i , w , t naprz. dla gramokaloryi, ampera, oma i sekundy zgodnie z str. 40, $= 0,24$.

Podług prawa Ohma (patrz str. 341)

$$i = \frac{e}{w} \text{ albo } e = wi, \text{ albo nareszcie } w = \frac{e}{i}.$$

Podług tego możemy *prawu Joule'a* również nadawać trzy rozmaite formy:

$$\text{Prawo Joule'a: } Q = ai^2 \text{ wt} = a \frac{e^2}{w} t = aeit.$$

Wielkość a jest *spółczynnikiem* liczebnym albo liczbą *niemianowaną*.

Wiemy jednak, że *ilość ciepła równowartą jest pewnej zupełnie określonej pracy mechanicznej i odwrotnie (Mechaniczna teoria ciepła) jedna kalorya, określona tak, jak to podaliśmy wyżej, odpowiada 4, 169. 10⁷ erg albo cm² g⁻² (patrz wykład IX)*. Ponieważ a jest czynnikiem liczebnym, przeto według tego $i^2 \text{ wt}$ musi wyobrażać pracę, wykonaną w czasie t , a wtedy $i^2 w$ jest pracą na sekundę albo skutkiem (dzielnością) lub efektem mechanicznym. A zatem mamy następujące określenie: *Skutek czy dzielność prądu elektrycznego albo poprostu skutek prądu mierzy się iloczynem natężenia prądu podniesionego do kwadratu przez opór przewodnika.*

Absolutne jednostki oporu i siły elektromotorycznej. Nazwijmy skutek prądu K ; wówczas obrawszy tylko jeszcze jednostki oporu i E. M. S. możemy napisać

$$K = i^2 w = \frac{e^2}{w} = ei.$$

Jednostkę natężenia prądu określiliśmy już w absolutnej mierze elektromagnetycznej w rozdziale ośmnastym. Otrzymujemy więc następujące definicje dla odpowiednich jednostek oporu i E. M. S.

Definicja: Za absolutną jednostkę elektromagnetyczną oporu uważamy opór przednika, w którym prąd o wymierzonej w miarach elektromagnetycznych jednostce natężenia

nia wytwarza w ciągu sekundy ilość ciepła równowątą 1 erdze. Różnicę potencyału, istniejącą przytem na ostatecznych punktach przewodnika, uważamy za absolutną jednostkę elektromagnetyczną siły elektromotorycznej.

Wymiary tych jednostek złatwością określają się w sposób następujący:

Mamy tedy

$$\text{Wym. } w \times \text{Wym } i^2 = \text{Wym. } K$$

$$\text{Wym. } w \times \text{cm } g s^{-2} = \text{cm}^2 g s^{-3}$$

a zatem

$$\text{Wymiar oporu} = \text{cm } s^{-1}$$

Tym sposobem w oporze ujawnia się ten sam wymiar co w prędkości, co jest prostem następstwem tego określenia natężenia prądu, że kwadrat jego posiada wymiar siły.

Mamy tedy

$$\text{Wym. } e \times \text{Wym } i = \text{Wym. } K.$$

albo

$$\text{Wym. } e \times \text{cm}^{1/2} g^{1/2} s^{-1} = \text{cm}^2 g s^{-3}$$

przeto

$$\text{Wym. } E. M. S. = \text{cm}^{3/2} g^{1/2} s^{-2}.$$

Praca mechaniczna jednej ergi jest wielkością bardzo małą; wobec tego bardziej praktycznemi do tego celu tudzież do oporu i siły elektromotorycznej okazały się jednostki większe.

Praktyczne jednostki oporu i siły elektromotorycznej. Wszak za praktyczną jednostkę natężenia prądu obra-

liśmy już nie absolutną jednostkę lecz amper (patrz str. 302) a m.

$$1 \text{ a} = 0,1 \text{ cm}^{1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}.$$

Podobnie za praktyczną jednostkę oporu obieramy *om*, tak że

$$(1 \text{ a})^2 \times 1 \text{ om} = 10^7 \text{ erg na 1 sekundę.}$$

Według tego

$$1 \text{ om} = 1 \omega = 10^9 \text{ cm s}^{-1*}.$$

(Do celów techniki bywa jeszcze potrzebny *1 megom* = 10^6 oma^4 , *1 mikrom* = 10^{-6} oma . Przyp. tł.).

Atoli 10^9 cm s^{-1} jest prędkością, z jaką długość kwadransa południka ziemskiego (którego częścią dziesięcio-milionową jest 1 metr) przebiegana jest w ciągu sekundy.

Podobnie za praktyczną jednostkę siły elektromotorycznej obieramy *volt* tak, że

$$1 \text{ a} \times 1 \text{ volt} = 10^7 \text{ erg na sekundę.}$$

A zatem

$$1 \text{ volt} = 1 \text{ v} = 10^8 \text{ cm}^{3/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-2}.$$

Podług *prawa Ohma* dla tych *praktycznych jednostek* mamy stosunki

$$1 \text{ a} = \frac{1 \text{ v}}{1 \omega}; 1 \text{ volt} = 1 \text{ a} \times 1 \omega; 1 \omega = \frac{1 \text{ v}}{1 \text{ a}}$$

albo w ogólności

$$J \text{ (a)} = \frac{E \text{ (v)}}{W \text{ (a)}}; E \text{ (v)} = J \text{ (a)} \times W \text{ (a)};$$

$$W \text{ (a)} = \frac{E \text{ (v)}}{J \text{ (a)}}.$$

O zastosowaniach tego prawa przy użyciu powyższych jednostek będzie mowa później w rozdziale dwudziestym czwartym.

Na oznaczenie pracy mechanicznej 10^7 erg anglicy wprowadzili nazwę *1 joule* (dżaul), dzielnosci zaś mechanicznej 10^7 erg na sekundę nazwę *1 watt*. Ponieważ nazwy te, bądź co bądź, posiadają przymiot zwiezłości, przeto w praktyce elektrotechnicznej zostały utrzymane. Mamy więc

$$1 \text{ joule} = 10^7 \text{ erg } (\text{cm}^2 \text{ g s}^{-2}) = 10^7 \text{ cm}^2 \text{ g s}^{-2}$$

$$1 \text{ watt} = 10^7 \text{ erg na sekundę } (\text{cm}^2 \text{ g s}^{-2}) = 10^7 \text{ cm}^2 \text{ g s}^{-3}$$

Watt równa się także iloczynowi 1 amper $\times$ 1 volt albo 1 *voltamperowi* (va), i pod tą nazwą więcej nawet jest znany*).

Ponieważ 1 kalorya = 4,169. 10^7 erg przeto mamy również

$$1 \text{ va} = 10^7 \text{ erg na sekundę } \left(= \frac{1}{4,169} \right) = 0,24 \text{ kaloryj,}$$

czyli dla ampera, oma i volta współczynnik liczebny a posia-

Wszystkie te jednostki uchwalone zostały na dwóch międzynarodowych zjazdach elektryków w Paryżu, w latach 1884 i 1889. Za om *legalny* postanowiono przyjąć opór słupa rtęcio przekroju 1 mm² i długości 106 cm przy temperaturze lodu topniejącego 0° C. Takie było położenie rzeczy do r. 1892. Wtedy na wniosek H. v. Helmholtza na zjeździe „Bryt. Stowarzyszenia postępu nauk” w Edynburgu. Siły międzynarodowe złożone z delegatów od Instytutu Fizycznego w Berlinie, Bryt. komisji wzorców elektrycznych, Board of Trade, Biura Międzynarodowego wag i miar i t. d. postanowiły, by odtąd „za om elektryczny uwa-

da, jak, to nadmieniliśmy wyżej na str. 43 i 85, wartość 0,24, jeżeli za jednostkę ciepła obierzemy gramokaloryę.

A dalej mieliśmy (siła 1 konia = $735,7 \cdot 10^7$ erg na sekundę (patrz wykład dziewiąty); tym sposobem

$$\text{siła 1 konia} = 735,7 \text{ va}$$

albo

$$1 \text{ va} = 0,001359 \text{ siły konia.}$$

Zamiast siły konia w elektrotechnice stosują teraz często kilowat, przyczem jeden kilowat = 1000 watów = 1,359 S. K. albo 1 S. K. = 0,7357 kilowata = 735,7 w.

Absolutne określenie oporu zapomocą kalorymetru. Najprostsza metoda, prowadzącą do określenia oporu danego

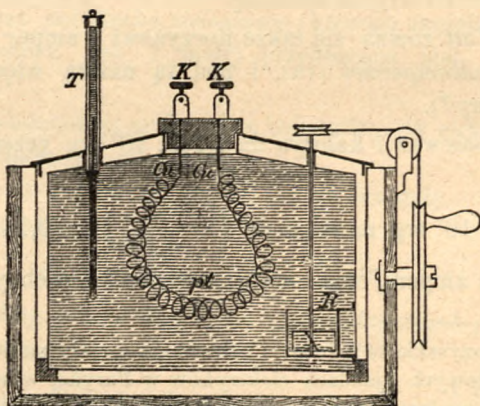


Fig. 230. Kalorymetr do pomiarów galwanicznych.

żany był opór elektryczny słupa rtęci przy temperaturze lodu topniejącego, którego długość przy jednakowym wszędzie przekroju wynosi 106,3 cm, masa zaś 14,452 g, co uważać można za odpowiadające przekrojowi 1 mm^2 słupa rtęci” (Przyp. tł.).

drutu w jednostkach absolutnych, albo w omach, jest następująca. Przylutowujemy drut naprz. platynowy pt fig. 230, do dwóch grubych drutów miedzianych Cu, przechodzących nazewnątrz w korku drewnianym. Przyrząd ten ustawia się w naczyniu z cienkiej blachy mosiężnej lub miedzianej polerowanej, napelnionem wodą, które z kolei rzeczy mieści się w naczyniu z blachy białej, grubości 1 centymetra, na nóżkach korkowych po to, ażeby naczynie możliwie zabezpieczyć od strat ciepła i od dopływu ciepła z zewnątrz; nareszcie naczynie blaszane jeszcze osłonięte jest puszką drewnianą. Przyrząd tego rodzaju nazywamy *kalorymetrem*. Prąd dostaje się i wychodzi przez końcówki K; równocześnie natężenie jego mierzy się busołą stycznych. Ciepło wywiązujące się udziela się kalorymetrowi, który rozgrzewa się o pewną liczbę stopni, dających się odczytać na bardzo czułym termometrze T. Do jednostajnego rozprowadzania ciepła służy mieszkadło R. *Z równoważnika wodnego* *) P kalorymetru oraz z przyrostu temperatury β znajdujemy wywiązaną ilość kaloryj Q w czasie również zaobserwowanym t, a mianowicie

$$Q = P\beta$$

Dalej podług prawa Joule'a (skoro i zmierzone jest w amperach)

$$Q = 0,24 \cdot i^2 w t$$

*) Jest to ilość wody, przez jaką daje się w obliczeniach zastąpić masę kalorymetru, a otrzymuje się ją przez pomnożenie wagi kalorymetru przez ciepło właściwe metalu, z którego jest on zrobiony, (platyny 0,0324, mosiądzu 0,0939) i dodanie ilości nalanej wody.

a zatem

$$w = 4,169 \frac{P^3}{i^2 t} \text{ omów.}$$

Przykład. $P = 1025, 1 \text{ g}$; $\beta = 6,61^\circ \text{ C.}$ i $t = 10 \text{ minut} = 600 \text{ s.}$ Prąd dawał na kilkakrotnie wspomnianej busoli stycznych, o współczynniku zamiany (patrz str. 81) 4,398 amp., odchylenie $56^\circ 30'$. Jak wielkim był opór użyty w omach?

Mamy

$$i = 4,398 \cdot \text{tang } 56^\circ 30' = 4,398 \cdot 1,5108 = 6,6445 \text{ amp.}$$

a zatem

$$w = 4,169 \cdot \frac{1025,1 \cdot 6,61}{(6,6445)^2 \cdot 600} = \frac{28249}{26490} = 1066 \omega.$$

Oznaczenie oma na drodze kalorymetrycznej zbyt pewnem nie jest, ponieważ mechaniczny równoważnik ciepła jest wielkością, która z doświadczeń bezpośrednich nie daje się określić z dokładnością przewyższającą 1 %. O wiele prędzej, dokładne oznaczenia oma, o których później powiemy, przy użyciu powyższej metody dadzą się zużytkować do ściślejszego określenia mechanicznego równoważnika ciepła.

Ważniejsze znaczenie posiada określenie *nateżenia prądu zapomocą kalorymetru* w tych razach, gdy busola stycznych nie ma zastosowania, naprz. do *prądów zmiennych*. Przebieg jest tu zupełnien ten sam co poprzednio, tylko opór w omach jest dany, zaś i pozostaje nieznane; naturalnie busola stycznych jest tutaj zbyteczna.

Na podobnej zasadzie oparty został miernik prądu *Breguet'a* (patrz str. 38); na niej też opiera się miernik *Cardew*. W ostatnim przyrządzie mierzymy rozgrzanie cienkiego drutu, a przez to ubocznie nateżenie prądu na mocy wydłużenia tego drutu.

Chwilowa E. M. S. wzbudzona w elemencie przewodnika przez ruch tegoż w polu magnetycznem. Jeżeli kawałek przewodnika prosto-linijnego o długości dL , prostopadłego, do linii sił, będziemy przesuwali z prędkością $v^*)$ wbrew liniom sił w polu magnetycznem o natężeniu $\mathfrak{H}$, tedy w przewodniku wzbudza się E. M. S. mająca wielkość

$$e = \mathfrak{H} \cdot v \cdot dL \text{ (elementarne prawo prądów indukcyjnych).}$$

Dowodzenie. Niechaj natężenie prądu wzbudzonego będzie i , wielkość przesunięcia ds i czas na to potrzebny dt . Natenczas element przewodnika doznaje ze strony pola oporu (prawo Biot-Savart'a str. 300 i prawo Lenza str. 340) równego $\mathfrak{H} \cdot i \cdot dL$ (mianowicie podług pierwszego prawa siła wywarta na biegun M zgodnie z powyższymi przypuszczeniami $= i \mathfrak{H} dL$); podobnież dużą lecz odwrotną musi być siła przeciwdziałająca wywierana na dL przez biegun w kierunku przeciwnym. Że jednak $\frac{\mathfrak{H}}{v^2} = \mathfrak{H}$ jest natężenie pola bieguna w miejsku dL , jak to wynika ze str. 134, tedy siła wywierana przez biegun albo jego pole dL posiada wartość pomienioną). Skutkiem tego wartość pracy mechanicznej, którą należy wykonać podczas ruchu na przestrzeni ds , wynosi

$$\mathfrak{H} \cdot i \cdot dL \cdot ds.$$

Według prawa o zachowaniu energii praca ta nie jest straconą, lecz musi występować w przewodniku w innej postaci, a m. w formie energii elektrycznej. Atoli energia elektryczna na mocy prawa Joule'a jest równą $ei \cdot dt$, gdy dt jest czasem potrzebnym dla ruchu na przestrzeni ds .

Ze zrównania obu wynika jednak

$$\mathfrak{H} \cdot i \cdot dL \cdot ds = ei \cdot dt$$

*) Nie należy mieszać tego okolicznościowego oznaczenia prędkości v ze stałym oznaczeniem jednostki siły elektromotorycznej v . (Uw. t.).

zkąd

$$e = \oint \cdot dL \cdot \frac{ds}{dt}.$$

Lecz $\frac{ds}{dt}$ jest właśnie prędkością $\oint$ (patrz str. 120), z jaką porusza się przewodnik.

Skoro przewodnik jest prosto-liniowy o długości L , a pole jest jednorodne, $E. M. S.$ wzbudzona w przewodniku o skończonej długości L również posiada wielkość

$$e = \oint L v$$

Zkąd wynika inna, następująca definicya dla jednostki siły elektromotorycznej.

Definicya. *Za jednostkę siły elektromotorycznej w absolutnej mierze elektromagnetycznej obieramy tę, która się wzbudza w przewodniku prosto-liniowym 1 cm długim, prostopadłym do linii sił i poruszającym się z prędkością 1 cm na sekundę w polu jednorodnem o natężeniu dawniej określonym 1, prostopadle do linii sił.* Jednostka ta jest zupełnie identyczna z poprzednio określoną, co też zaraz wynika z jej wymiaru. Bo jak wyżej

$$\text{Wym. } e = \text{wym } \oint \times \text{wym. } L \times \text{wym. } v$$

albo

$$\text{wym. } e = \text{cm}^{-1/2} g^{1/2} s^{-1} \times \text{cm} \times \text{cm s}^{-1}.$$

przeto

$$\text{w miar siły elektromotorycznej} = \text{cm}^{3/2} g^{1/2} s^{-2}.$$

Skoro przewodnik posiada opór w , tedy natężenie prądu wzbudzonego w nim

$$i = \frac{e}{w} = \frac{\oint L v}{w}.$$

Podobnie możemy określić opór jako prędkość, z jaką przewodnik długości 1 cm prostopadły do linii sił mu-

siałby się poruszać, w polu magnetycznem o natężeniu $1 \text{ cm}^{-1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}$ prostopadle do linii sił, ażeby w nim wzbudzić prąd o natężeniu $1 \text{ cm}^{1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}$. Widzimy ztąd odrazu, jak dalece opór przewodnictwa daje się pojąć jako szybkość w znaczeniu mechanicznem.

Tym sposobem, gdyby opór był $w = 1 \omega$, tedy wobec poprzednich przypuszczeń odpowiednia prędkość byłaby $v = 109 \text{ cm s}^{-1} = 1$ kwadransowi ziemskiemu na sekundę, gdybyśmy chcieli w nim otrzymać prąd indukcyjny o natężeniu 1 ampera.

Jeżeli element przewodnika ds nie jest prostopadły do linii sił i jeżeli kierunek ruchu jest ukośny do tych ostatnich, wtedy w powyższem prawie zasadniczem należy założyć zamiast dL i v rzuty ich na płaszczyznę prostopadłą do linii sił.

Możemy teraz z łatwością nadać naszemu prawu za-

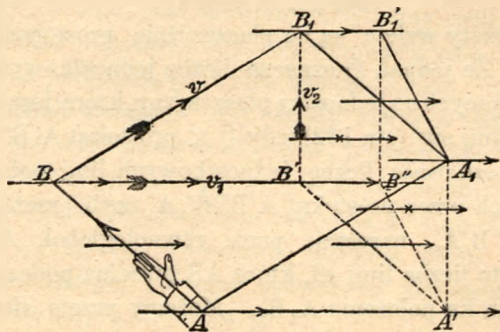


Fig. 231.

sadniczemu jeszcze jedno wyrażenie o znaczeniu ogólniej-

szem. Według dopiero wyłożonego prawa żadna siła elektromotoryczna nie tworzy się, skoro tylko jeden lub oba wymienione rzuty są zerem t. j. jeżeli albo dL albo v lub oba zlewają się z kierunkiem linii sił. Niechaj AB wyobraża na fig. 231 element przewodnika dL w jego położeniu początkowym, A_1B_1 w ostatecznym. Strzały niepierzaste oznaczają linie sił pola, do których AB może pochyłać się pod jakimkolwiek kątem. Zamiast więc przesunąć przewodnik poprostu w kierunku strzały pierzastej z prędkością v , możemy go przesunąć najpierw w kierunku linii sił z prędkością v , w $A'B'$ a potem z prędkością v_2 prostopadłe do linii sił w położenie ostateczne A_1B_1 ; czyli możemy v rozłożyć na dwie składowe, v_1 w kierunku linii sił i v_2 prostopadłą do nich. Tylko ostatniej składowej odpowiada pewna wzbudzona *E. M. S.* Gdy dalej $A'B''$ jest rzutem dL na płaszczyznę prostopadłą do linii sił, tedy prostokąt $A'B''B'_1A_1$ jest właśnie iloczynem

$$\text{rzut } dL \times \text{rzut } v,$$

gdy oba rzuty wzięte są na płaszczyźnie prostopadłej do linii sił. Że jednak $\oint$ oznacza liczbę jednostkowych linii przypadających na jednostkę płaszczyzny, która jest prostopadłą do linii siły (str. 132), tedy $\oint \times$ prostokąt $A'B''B'_1A_1$ oznacza całkowitą liczbę jednostkowych linii pola przechodzących przez prostokąt $A'B''B'_1A_1$ czyli przez prostokąt $A'B'B_1A_1$, nareszcie przez równoległobok ABB_1A_1 . Atoli jestto liczba linii sił, które AB przecina podczas swojego ruchu ku położeniu A_1B_1 . Możemy przeto sformułować prawo zupełnie ogólne:

II Prawo zasadnicze. Jeżeli element przewodnika przesuwca się w polu magnetycznym tak, iż przecina linie sił,

wtedy w nim powstaje wzbudzona *E. M. S.* Wielkość tej siły elektromotorycznej równa się liczbie linii sił przeciętych w ciągu bardzo krótkiego odstępu czasu, podzielonej przez ten czas. Gdy $\mathcal{H}$ i v są stałe, iloraz ów równa się liczbie linii sił przeciętych w ciągu jednej sekundy.

Mamy teraz ustalić jeszcze jedno prawidło, które pozwoli nam odnaleźć *kierunek* wzbudzonej siły elektromotorycznej albo *kierunek* prądu wzbudzonego. I do niego jednak z łatwością dochodzimy na mocy praw *Biot-Savart'a* i *Lenz'a* oraz dawniej wskazanej próby prawej i lewej ręki (str. 185 i 271 t. I). By znaleźć najpierw *kierunek* ruchu, jaki wytyka element przewodnika dL w polu magnetycznym, przyłożyliśmy naszą *lewą rękę* w ten sposób do elementu, że dłoń była odwrócona do linii sił, palce zaś wskazywały *kierunek* prądu; wtenczas wyciągnięty wielki palec wskazywał *kierunek* powstającego ruchu. Ponieważ przy indukcji podług *prawa Lenza* *kierunek* prądu jest właśnie odwrotny do tego, jaki spowodowałby dany ruch przewodnika, przeto *kierunek* siły elektromotorycznej możemy określić na podstawie *prawidła* następującego:

Prawidło kierunku. *Aby określić kierunek siły elektromotorycznej wzbudzonej w elemencie przewodnika podczas ruchu w polu magnetycznym, przyłóż do przewodnika prawą rękę w ten sposób, by dłoń była zwrócona do linii sił i wielki palec wyciągnięty wskazywał kierunek ruchu. Wtenczas palce wskażą kierunek wzbudzonej siły elektromotorycznej albo prądu wzbudzonego.*

Stosując *prawidło* to, otrzymujemy naprz. na fig. 231 *kierunek* prądu wzbudzonego, który wskazaliśmy ostrzem strzały na *AB*.

Przyp. tłum. Zamiast tego prawidła, można korzystać w tym samym celu z innego, które dał Faraday*). Wyobraźmy się w położeniu leżącym w kierunku igły magnesowej, położonej w polu magnetycznym, mając przytem głowę zwróconą w stronę bieguna północnego i patrząc w stronę posuwania się przewodnika w polu magnetycznym; wtenczas E. M. S. wzbudzona w przewodniku zawsze działa od lewej strony ku prawej. Dogodne też prawidło zaproponował Fleming: „Trzymaj palce wskazujący, środkowy i wielki do siebie prostopadle (tak prawie jak trzy osi układu prostokątnego spórzędnych) tak aby wskazujący palec przypadał w kierunku linii sił. Następnie obracaj rękę tak długo, aż wielki palec wskaże kierunek ruchu danego elementu przewodzącego. Wtedy środkowy palec da nam kierunek prądu wzbudzonego w elemencie.”

Indukcja w przewodnikach zamkniętych. Gdy tylko jakikolwiek zamknięty, płaski przewodnik porusza się w jednorodnym polu magnetycznym tak, że jego płaszczyzna zawsze pozostaje do siebie równoległą, wtedy zgodnie z prawami wymienionemi znajdujemy, iż zawsze w jednej połowie przewodnika wzbudza się siła elektromotoryczna, co do wielkości i kierunku wyrównywająca i przeciwna sile elektromotorycznej w drugiej połowie. W ten sposób obie *zawsze* się znoszą, słowem żaden prąd indukcyjny tu nie powstaje. W czasie tego ruchu linie sił pola

*) Odkrycie zjawisk indukcyjnych zawdzięczamy Faraday'owi (1831), który całym szeregiem prostych a zarazem dowcipnych doświadczeń dowiódł po raz pierwszy, że przy każdej zmianie w położeniu lub natężeniu pola magnetycznego powstaje w sąsiednim przewodniku elektrycznym prąd elektryczny. W r. 1847 Helmholtz („Ueber die Erhaltung der Kraft” str. 64), wskazał, że indukcja prądów elektrycznych na mocy zasady o zachowaniu energii jest nieuniknionym następstwem wzajemnych działań znalezionych przez Oersted'a i Ampère'a pomiędzy prądami a magnesami i pomiędzy samymi tylko prądami. (Od tł.)

wchodzą przez jedną połowę przewodnika do wnętrza płaszczyzny otoczonej przewodnikiem i przez drugą w tymże czasie w równej liczbie wychodzą. Atoli gdy jedna połowa przewodnika przecięta jest większą liczbą linii sił, niż w tymże czasie druga, wtedy wynikiem tego jest prąd indukcyjny w tej połowie. Lecz w tym razie *liczba linii sił przecinających płaszczyznę otoczoną przewodnikiem rośnie lub spada*. Siła elektromotoryczna indukcji mierzy się nadwyżką w niej sił przecinających jedną połowę przewodnika nad drugą w ciągu jednej sekundy, czyli, innemi słowy, liczbą, o którą zmienia się ilość linii sił przecinających na sekundę powierzchnię ograniczoną przewodnikiem. Mamy przeto następujące

Prawo indukcji dla przewodników zamkniętych. *W przewodniku zamkniętym podczas ruchu jego w polu magnetycznym zawsze budzi się pewna siła elektromotoryczna, jeżeli liczba linii sił przecinających płaszczyznę ograniczoną przewodnikiem ulega zmianie. Wielkość tej siły elektromotorycznej mierzy się szybkością, z jaką następuje ta zmiana, albo przy zmianie jednostajnej nadliczbą linii sił wchodzących lub wychodzących z płaszczyzny na sekundę (prawo Faraday'a str. 337 t.I.).* Dla tych przewodników, do których często z trudnością dałoby się zastosować prawidło prawej ręki, wyprowadzamy inne prawidło, służące do oznaczania kierunku prądów indukcyjnych, co też najlepiej i odrazu daje się wykonać na mocy wypadku przedstawionego na fig. 188 t. I. Brzmi ono jak następuje:

Prawidło kierunku. *Patrz na przewodnik w ten sposób, ażeby linie sił zwrócone były do twarzy patrzącego. Wtedy, wobec tak ustawionego widza, podczas wzrastania*

liczby linii sił, przecinających płaszczyznę ograniczoną przewodnikiem, prąd indukcyjny przebiega w kierunku wskazówek zegarka, podczas zmniejszania w kierunku przeciwnym.

W tej postaci prawa indukcji dają się niezwłocznie stosować i do wypadku *nieruchomego przewodnika zamkniętego*, w którym powstają prądy elektryczne, jeżeli w pobliżu skutkiem zamykania lub wzmacniania prądu elektrycznego tworzy się lub potęguje pole magnetyczne lub też jeżeli skutkiem przerywania prądu elektrycznego znika lub słabnie pole magnetyczne.

Całkowity prąd wzbudzony. Prawa dotychczas omawiane stosują się wyłącznie do *stanu chwilowego*, t. j. dają siłę elektromotoryczną a przy znanym oporze, według prawa Ohma, również natężenie prądu wzbudzonego w *każdym pojedynczym momencie*. Z tego powodu prawa te możemy nazwać *momentalnemi* albo *różniczkowemi*.

Zbadajmy teraz, *jak wielką jest całkowita ilość elektryczności wzbudzona w przewodniku zamkniętym albo całkowity prąd wzbudzony podczas ruchu, który trwa w ciągu czasu t.*

W tym celu rozkładamy dany czas na wielką liczbę pojedynczych odstępów czasu $\tau_1, \tau_2, \dots$ dostatecznie małych, aby prędkość, z jaką zmienia się w ich ciągu liczba linii sił przecinających płaszczyznę przewodnika mogła uchodzić za stałą. Wtedy siły elektromotoryczne wzbudzone w pojedynczych odstępach czasu, skoro oznaczymy liczby linii sił wychodzących lub wchodzących $z_1, z_2, \dots$, będą według prawa przytoczonego na str. 99

$$e_1 = \frac{z_1}{\tau_1} ; e_2 = \frac{z_2}{\tau_2} ; \dots$$

Jeżeli dalej w jest opór przewodnika, tedy natężenie prądu wzbudzonego w każdej chwili według prawa Ohma

$$i_1 = \frac{e_1}{w_1} ; i_2 = \frac{e_2}{w_2} ; \dots$$

Inne określenie natężenia prądu. *Ponieważ natężenie prądu może być również określone jako ta ilość elektryczności, która przebiega w ciągu sekundy przez przekrój przewodnika, przeto dla ilości elektryczności $q_1, q_2 \dots$ przenoszonych w odstępach czasu $\tau_1, \tau_2, \dots$ otrzymujemy wartości*

$$q_1 = i_1 \tau_1 = \frac{e_1 \tau_1}{w} = \frac{z_1}{w} ; q_2 = i_2 \tau_2 = \frac{e_2 \tau_2}{w} = \frac{z_2}{w} ; \dots$$

Tym sposobem całkowita ilość elektryczności przesyłana w czasie t albo całkowity prąd q otrzymujemy z równania

$$q = q_1 + q_2 + \dots = \frac{1}{w} (z_1 + z_2 \dots)$$

lub wreszcie

$$\text{Całkowity prąd } q = \frac{z}{w},$$

jeżeli przez z oznaczmy całkowitą liczbę linii sił wchodzących w płaszczyznę przewodnika lub z niej wychodzących w czasie t .

Całkowity prąd jest więc zupełnie niezależny od czasu t , czyli ta sama ilość elektryczności wprawia się w ruch, jeżeli tylko z i w zachowują te same wartości albo przynajmniej pozostają do siebie w tym samym stosunku.

Wielkość $e_1 \tau_1 + e_2 \tau_2 + \dots = z_1 + z_2 + \dots = z$ nazywamy też *E. M. S. prądu całkowitego*, a iloraz $\frac{z}{t}$ przedstawia wtedy *średnią E. M. S. w ciągu czasu t* .

Określenie przez indukcję absolutnej jednostki oporu i oma. Gdybyśmy mogli w jakikolwiek sposób zmierzyć całkowity prąd q i równocześnie oznaczyć wartość z , wtedy moglibyśmy odrazu wskazać wartość w w oporu przewodnika w jednostkach absolutnych. Dzieląc przez 10^9 otrzymalibyśmy ztąd odrazu w omach wartość w . Lecz wartość z można otrzymać odrazu, jeżeli ruch odbywa się *w polu jednorodnem* o wiadomym natężeniu $\mathfrak{H}$ i jeżeli znamy całkowitą płaszczyznę f otoczoną poruszającym się przewodnikiem. Jeżeli więc przeprowadzimy przewodnik z położenia, w którym linie sił *wcale* nie przechodzą przez jego płaszczyznę, w położenie takie, że *najwięksha ilość* ich przez nią przechodzi, albo naodwrot, w takim razie $z = f \mathfrak{H}$.

Na przewodniki zwykle używamy ramy okrągłej z suchego i twardego drzewa o średnicy blisko 50 lub więcej centymetrów. Ramę tę obwijamy drutem miedzianym izolowanym. Jeśli r jest średnim promieniem zwoju i n liczbą zwojów, w takim razie $f = n \pi r^2$. Gdy L jest (widomą) długością drutu, $r = \frac{L}{n} : 2 \pi$

(bo $\frac{L}{n}$ jest średnim obwodem zwoju).

A zatem mielibyśmy

$$f = \pi n \frac{L^2}{n^2} : 4 \pi^2 = \frac{L^2}{4 \pi n}.$$

Pierścień ten z drutu ustawiamy pionowo i obracamy naokoło średnicy *pionowej* jako osi, o 180° z położenia, w którym płaszczyzna pierścienia jest prostopadła do magnetycznego południka miejsca. Wtenczas *natężenie pola* równa się *składowej poziomej magnetyzmu ziemskiego* H , która według sposobu, podanego na str. 142 daje się dokładnie zmierzyć, liczba zaś linii sił, przechodzących przez płaszczyznę zwoju f pierścienia podczas pierwszej połowy obrotu zmniejsza się o $z = f H$ a podczas drugiej połowy o tyleż się zwiększa. Atoli pierścień zmienił przy-

tem swoje obie strony tak, że chociaż E. M. S. wzbudzona w pierścieniu podczas drugiej połowy obrotu posiada względem widza patrzącego *od strony zewnętrznej* ruch przeciwny, jednakże *względem samego pierścienia* jest właśnie tak samo skierowana jak podczas pierwszej połowy obrotu. A więc siła elektromotoryczna całkowitego prądu

$$z = 2 f H = \frac{L^2 H}{2 \pi n}.$$

Tego rodzaju urządzenie nazywa się *induktorem ziemskim*, który zbudowany został przez prof. Wilhelma Webera i po raz pierwszy zastosowany do celu powyższego.

Łączymy teraz końce drutu z końcówkami czułego galwanometru zwierciadełkowego, o igle magnesowej, dosyć ciężkiej i znacznej długości wahnięcia T (około 30 sekund albo więcej), wobec której czas t, kiedy pierścień wykonywa połowę swojego obrotu, traci znaczenie. Taki galwanometr nosi nazwę *galwanometru balistycznego*.

Gdy więc całkowity opór induktora ziemskiego, galwanometru i drutów łącznikowych jest w, tedy prąd całkowity

$$q = \frac{z}{w} = \frac{L^2 H}{2 \pi n w}.$$

Jeżeli więc w chwili, gdy owa ilość elektryczności przechodzi przez zwoje galwanometru, igła jest spokojna, wówczas od tego *impulsu* (popędu) *prądu* doznaje ona skreślenia o kąt α , który łatwo daje się obliczyć z odchylenia zauważonego zapomocą zwierciadła i skali *). Można tedy mierzyć q zapomocą tego kąta α , jeśli znamy współczynnik zamiany galwanometru, czyli ów trwały prąd *w jednostkach absolutnych*, któryby odchylił igłę galwanometru o 45° (patrz. str. 303 t. I), i oprócz tego, jeżeli określimy czas wahnięcia igły T.

Jeżeli galwanometr nasz jest busolą stycznych o n zwojach i średnim promieniu R, wtedy prąd i wytwarza w środku

*) A mianowicie $\frac{\text{Liczba podziałek skali}}{\text{Odległość zwierciadła (w podz. sk.)}} = \text{tang } \alpha.$

jej tam, gdzie się igła znajduje, pole magnetyczne o natężeniu

$$\Phi = \frac{2 \pi n i}{R}. \text{ Tym sposobem, gdy } m \text{ jest momentem magne-}$$

tycznym i B momentem bezwładności igły, możliwie największy moment obrotowy $D = \Phi m$ i stosownie do praw mechaniki *przyspieszenie kątowe*

$$\zeta = \frac{\Phi m}{B}.$$

Ponieważ przyjąć można, że podczas całego krótkiego czasu t popędu indukcyjnego igła w istocie nie wyszła jeszcze ze swojego stanu spokoju, przeto otrzymujemy *prędkość kątową* $\mathfrak{B}$, którą „popęd indukcyjny” nadaje igle w czasie t .

$$\mathfrak{B} = \int_0^t \zeta dt = \int_0^t \frac{\Phi m}{B} dt = \frac{m}{B} \int_0^t \frac{2 \pi n i}{R} dt = \frac{m}{B} \cdot \frac{2 \pi n}{R} \cdot q;$$

a ponieważ natężenie prądu i jest ilością elektryczności wpra-

wioną w ruch *na sekundę*, przeto $\int_0^t i dt = q$ jest ilością elektrycz-

ności wprowadzoną w ruch w ciągu całego czasu t , czyli jest prądem całkowitym. Teraz zapytujemy w dalszym ciągu, jak wielkim jest kąt α wychylenia igły z położenia równowagi przy prędkości kątowej $\mathfrak{B}$, jaką igła otrzymała w stanie spokoju? Sądzymy przytem, że przy wychyleniu igły *jedyną* siłą przeciwdziałającą jest *magnetyzm ziemski*. Największy jego moment obrotowy wyobraża Hm , gdzie H jest poziomą składową magnetyzmu ziemskiego. Pytanie nasze w innym tłumaczeniu mogłoby przybrać postać następującą: jak wielką jest prędkość kątowa $\mathfrak{B}$ igły, z którą ona pod wpływem magnetyzmu ziemskiego nanowo powraca do stanu równowagi, po wychyleniu się uprzednim o kąt α ? Bo według praw mechaniki musi to być prędkość tak wielka jak ta, która wywołuje odchylenie igły o kąt α . Ponieważ wahnięcia igły podlegają ściśle tym samym prawom, co wahnięcia wahadła, przeto dla niej, podobnie jak dla niego, istnieje stosunek:

$$\mathfrak{B} = 2 \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \sqrt{\frac{\text{największy moment obrotowy}}{\text{moment bezwładności}}}$$

Otrzymujemy więc

$$\mathfrak{B} = \frac{m}{B} \cdot \frac{2 \pi n}{R} \quad q = 2 \sin \frac{\alpha}{2} \sqrt{\frac{m H}{B}},$$

albo

$$q = \frac{R}{2 \pi n} \frac{B}{m} 2 \sin \frac{\alpha}{2} \sqrt{\frac{m H}{B}}.$$

Prawą stronę możemy bez jakiegokolwiek zmiany pomnożyć przez $\frac{H}{H} = 1$; znajdziemy wtedy

$$q = \frac{R H}{2 \pi n} \frac{B}{m H} 2 \sin \frac{\alpha}{2} \sqrt{\frac{m H}{B}} = \frac{R H}{2 \pi n} 2 \sin \frac{\alpha}{2} \sqrt{\frac{B}{m H}}$$

Atoli (patrz str. 303 t. I) $c = \frac{R H}{2 \pi n}$ jest *spółczynnikiem zamiany galwanometru* w mierze absolutnej. Mamy dalej (patrz str. 140 t. I)

$$\pi \sqrt{\frac{B}{m H}} = T$$

jeśli T jest *trwaniem prostego wahnięcia igły*, a zatem

$$\sqrt{\frac{B}{m H}} = \frac{T}{\pi}.$$

Podług tego ostatecznie

$$q = 2 c \frac{T}{\pi} \sin \frac{\alpha}{2}.$$

Zkąd łącznie z równaniem wyprowadzonym na str. 103 znajdujemy *)

$$w = \frac{L^2 H}{4 n c T \sin \frac{\alpha}{2}} \text{ absol. jednostek elektromagn. czyli cm s}^{-1}.$$

*) Przypuszczenie, iż igła magnesowa znajduje przeciw-
działanie w jednym tylko magnetyzmie ziemskim, nie jest dość

Jeżeli α jest małe, co jest rzeczą zwyczajną w galwanometrach zwierciadelkowych, wtedy możemy nawet zamiast $\sin \frac{\alpha}{2}$ założyć $\frac{\alpha}{2}$.

Oznaczenie natężenia pól magnetycznych zapomocą prądów indukcyjnych. Innym bardzo ważnym zastosowaniem impulsów indukcyjnych mierzonych zapomocą galwanometru balistycznego jest używanie ich do mierzenia natężenia pola magnetycznego.

W tym celu w pole, które chcemy mierzyć, wprowadzamy małą cewkę indukcyjną o wiadomej płaszczyźnie zwoju f i wiadomym oporze, połączoną z galwanometrem

uzasadnione. Bo podczas ruchu igły zjawiają się opory ze strony powietrza i tarcia, wszakże bez wielkiego znaczenia, powtóre igła ze swojej strony wzbudza w zwojach moltiplikatora zamkniętego przez induktor ziemski prądy indukcyjne, które według prawa Lenza wywierają na igłę wpływ hamujący. Możemy, iż igła ta podlega *hamowaniu*. *Hamowanie* to zwłaszcza, jeżeli zwoje otaczają igłę z bardzo bliska i przedstawiają opór niewielki, może być tak duże, iż igła po wychyleniu powraca do stanu spoczynku, nie okazując wyraźnego wychylenia w drugą stronę. W galwanometrach, którymi chcemy mierzyć prądy trwałe, okoliczność to wielce przyjazna i przyczyniająca się do pośpiechu w pracy; umyślnie wytwarzamy tu szczególnie potężne *hamowanie elektromagnetyczne* przez to, że igła zamknięta jest w małym domku z grubej, dobrze przewodzącej miedzi. Tego rodzaju galwanometri zowią się *aperyodycznymi*.

W galwanometrze balistycznym *hamowanie* może być tylko *niewielkie*. Ujawnia się ono przez to, że wahnięcia igły po wychyleniu zmniejszają się z większą lub mniejszą szybkością. *Poraz z dwu po sobie następujących wahań* nazywamy „*stosunkiem hamującym*” galwanometru, a *logarytm stosunku tego dekrementu logarytmicznym wahań*. Założmy stosunek hamujący = h

balistycznym w taki sposób, że jej powierzchnia jest możliwie prostopadłą do linii sił. W takim razie albo wysuwamy cewkę naraz z pola w miejsce, gdzie natężenie pola praktycznie można uważać za 0, albo lepiej jeszcze, obracamy ją, skoro to możliwe, szybko o 180° . Jeżeli $\mathfrak{H}$ jest wtedy niewiadomym natężeniem pola i w wiadomym oporze galwanometru, drutów łączących i cewki indukcyjnej,

natenczas w pierwszym wypadku $q = \frac{f \mathfrak{H}}{w}$, w drugim

wypadku $q = \frac{2 f \mathfrak{H}}{w}$. Ażeby $\mathfrak{H}$ otrzymać w $\text{cm}^{-1/2} \text{g}^{1/2} \text{s}^{-1}$,

należy f wyrazić w cm^2 , w w cm s^{-1} (przez pomnożenie omów przez 10^9) i współczynnik zamiany galwanometru c w absolutnych jednostkach prądu (przez podzielenie oznaczonego w amperach przez 10).

Sposób ten przedewszystkiem nadaje się do mierzenia wielkości Φ , $\mathfrak{H}$, J , μ , k dla żelaza, stali i innych ciał magnetycznych, dając przytem najpewniejsze wyniki (por. str. 149 i 312 t. I).

tudzież $\lambda = \log h$ (logarytm zwyczajny albo Brigg'a); wtedy zamiast równania wyprowadzonego przez nas na podstawie przypuszczenia $h=1$, otrzymujemy dla q następujący, bardziej złożony wzór:

$$q = 2 c \frac{T}{\pi} \arcsin \frac{a}{2} h^{1/\pi \arctang \frac{\pi}{2,8026}}.$$

Gdy h niewiele się różni od 1, wtedy równanie sprowadza się do

$$q = 2 c \frac{T}{\pi} \sin \frac{\pi}{2} \sqrt{h}.$$

Wzorce oporowe.*) W praktyce elektrotechnicznej znajomość i posiadanie stałej i łatwo dającej się odtwarzać jednostki oporu ma pierwszorzędne znaczenie. Nie mówiąc o dawniejszych usiłowaniach stworzenia *oporu wzorcowego*, nadmienimy tylko, że przed 37 laty Werner Siemens**) zbudował podobny *wzorzec*, biorąc za podstawę dla jednostki *opór słupa rtęci 1 m długości, o przekroju 1 mm², przy temperaturze lodu topniejącego 0° C.*

Stosunek między t. zw. *omem legalnym* a jednostką Siemens'a wyraża się przez 1,06, zaś między *omem prawdziwym* (ostatecznie przyjętym) a jednostką Siemens'a przez 1,063 (patrz przyp. na str. 115 i tabelkę na str. 116).

Jednostki Siemens'a do celów praktycznych wykonywane są przez firmę Siemens'a i Halske'go z drutu nikelowego, przyrównanego do wzorca rtęciowego; kopie zaś oma normalnego (1,063) wytwarza Państwowy Instytut Fizyczno-Techniczny w Berlinie z rozmaitych stopów metali, odznaczających się wysokim oporem i małym współczynnikiem rozszerzalności na ten przykład z manganinu (stop 12 cz. manganu, 4 cz. niklu, 84 cz. miedzi), konstantanu (stop 60 cz. miedzi, 40 cz. niklu) i t. d.

Pytania do wykładu XXIII.

1. Wypowiedz prawo Joule'a w trzech jego rozmaitych formach.

*) Ustęp niniejszy w porównaniu z oryginałem został nieco zmieniony i rozszerzony pod wpływem przytoczonej nie-raz w ciągu książki Grunmach'a (Uw. tł.).

**) Werner Siemens „Vorschlag eines reproducirbaren Widerstandsmaasses” (Rocznik Poggendorff'a tom 110, str. 1, r. 1860).

2. Co rozumiesz przez skutek prądu i jaką podstawę masz do uważania tej wielkości za skutek mechaniczny?

3. Oznacz jednostki praktyczne oporu i siły elektromotorycznej om i volt.

4. Jakie są trzy rozmaite sposoby formułowania prawa Ohma dla tych jednostek praktycznych?

5. Wskaż znaczenie i wzajemne stosunki jednostek, nazywanych joule'm, watem, voltamperem, kilowatem i siłą konia.

6. Co nazywamy kalorymetrem? Jak się go używa do oznaczania oporu w omach?

7. Do czego może jeszcze służyć kalorymetr, jeżeli znamy opór przewodnika, po którym przebiega prąd (stały lub zmienny)?

8. Jaką wielkość posiada E. M. S. wzbudzona w pewnej określonej chwili w elemencie przewodnika podczas jego ruchu w polu magnetycznym i jak się znajduje kierunek tejże zapomocą próby prawej ręki?

9. Jak się daje określić zapomocą prawa indukcyi absolutna jednostka elektromagnetyczna E. M. S. Czy jednostka ta i dawniej określona bardzo się różni?

10. Objasnij z jakiej przyczyny opór w absolutnej mierze elektromagnetycznej może być uważany jako prędkość? Jaka szybkość odpowiada jednemu omowi?

11. Wypowiedz w formie najogólniejszej zasadnicze prawo siły elektromotorycznej w jednej chwili wzbudzonej.

12. Jakie jest brzmienie prawa dla siły elektromotorycznej chwilowo wzbudzonej w obwodzie zamkniętym i podług jakiego pravidła znajdujemy kierunek tejże?

13. Wskaż inną definicyę dla natężenia prądu, korzystając z ilości elektryczności, przepływającej przez przewodnik.

14. Co oznacza całkowity prąd i jak go wypada znaleźć?

15. Czem jest siła elektromotoryczna prądu całkowitego i co rozumiemy przez średnią wartość siły elektromotorycznej w ciągu danego czasu?

16. Wskaż sposób mierzenia oporu zapomocą działań indukcyjnych w absolutnej mierze elektromagnetycznej.

17. Co to jest galwanometr balistyczny i jak się nim mierzy prądy całkowite albo impulsy prądu.

18. Co to jest galwanometr aperyodyczny?

19. Jak się używają prądy indukcyjne do mierzenia natężenia pola magnetycznego?

20. Czem jest wzorzec oporu?

21. Wskaż długości słupów rtęci o przekroju 1 mm^2 równowarte jednostce Siemens'a, omowi legalnemu i prawdziwemu.

WYKŁAD XXIV.

Treść: Opór przewodników cylindrycznych i pryzmatycznych. — Tabelki oporów właściwych. — Jednostki oporu i skrzynki oporowe (oporniki). — Prawo Ohma. — Łączenie bateryj. — Pytania.

Opór przewodników cylindrycznych pryzmatycznych. Dla tego rodzaju przewodników wyprowadziliśmy już na str. 44 prawo, według którego opór ich jest proporcjonalny do długości L i odwrotnie proporcjonalny do przekroju Q . A zatem możemy prawu temu nadać formę algebraiczną

$$w = s \cdot \frac{L}{Q}.$$

Dla drutów cylindrycznych $Q = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4}$, gdzie d oznacza średnicę drutów. Z tego powodu mamy dla drutów o średnicy d

$$w = s \cdot \frac{4}{\pi} \cdot \frac{L}{d^2} = 1,273 s \cdot \frac{L}{d^2}.$$

Wielkość s naturalnie zależy od wyboru jednostki oporu, długości, przekroju i od materiału. Co do wartości liczebnej jestto opór przewodnika o długości *jedność* i przekroju *jedność*, wyrażony w odpowiednich jednostkach oporu. Wielkość tę nazywamy *oporem właściwym* materiału.

[*Przyp. tł.* Opór zatem właściwy jest liczbą mianowaną i w układzie elektromagnetycznym miar posiada wymiar ($L^2 T^{-1}$). Wielkość odwrotna oporowi właściwemu, a więc $\frac{1}{w}$, nazywa się *przewodnictwem właściwym* albo *zdolnością właściwą przewodzenia*].

Właściwie i konsekwentnie należałoby tutaj obrać za jednostkę długości 1 cm a za jednostkę przekroju 1 cm². Wolimy jednak ze względów praktycznych za jednostkę długości obrać *metr*, za jednostkę zaś przekroju *milimetr kwadratowy*.

Tabelki oporów właściwych. Załączona tabelka przedstawia opory właściwe niektórych przewodników metalowych, wyrażone w omie prawdziwym*), na 1 metr długości i 1 mm² przekroju przy 15° C. (szczegółowsze dane zawiera kalendarz Uppenborna 1897 str. 80).

Metal	Opór właściwy S na 1 m i 1 mm ² przy 15° C.	Przyrost s na 1° C. przyrostu tempe- ratury.
	ω	‰
Glin	0,0809	0,39
Ołów walcowany	0,2073	0,39
Żelazo czyste . . (druć żelazny).	0,1037	0,48
Złoto wypalone .	0,0219	0,36
Miedź	0,0169	0,38
Nowe srebro . .	0,3001	0,036
Nikiel platynowy	0,3410	0,019
Platyna wypalona	0,0937	0,24
Stop platyny i sre- bra (33,4‰ Pt)	0,2473	0,032
Rtęć	0,9407 (przy 0°)	0,091
Srebro wypalone	0,0159	0,38
„ hartowane	0,0169	0,38
Bismut walcowany	0,3290	0,35
Cynk	0,0588	0,37

*) Pierwotnie tabelka w oryginale wyrażona była w omie legalnym = 1,06 J. S; zmianie uległy więc trzecia i czwarta cyfra ułamku (Przyp. tł.).

Opór właściwy zależy nie tylko od *chemicznej czystości* materiału, ale też w wysokim stopniu od *mechanicznej obróbki* materiału; tak naprz. po każdym hartowaniu, które wszakże do obróbki należy, powiększa się opór właściwy materiału. A potem *opór właściwy metali rośnie wraz z temperaturą**). Niewiele zmieniają się w zależności od temperatury i wyróżniają się wysokim oporem właściwym niektóre stopy, naprz. nowe srebro, nikiel patentowy i stop platyny ze srebrem; dlatego używane bywają do wyrobu jednostek oporowych (oporników) do celów mierniczych. Wyjątek stanowią pewne stopy miedzi i manganu, których opór właściwy przy wzroście temperatury albo zmienia się niewiele, albo wcale się nie zmienia.

Opór węgla, który znalazł zastosowanie w lampach żarowych i łukowych, zmniejsza się, jeżeli temperatura wzrasta. Przytem opór wł. (na zimno):

węgielków Carré go wynosi około 0,64 ω .

„ Siemens'a 1 „

W lepszych włóknach do lampek żarowych (do wysokiego napięcia) opór wł. na zimno wynosi 25 do 30 omów.

*) *Przyp. tł.* Zależność tą Grunmach (str. 272 tyle już razy cytowanego dzieła) określa dla mniejszych temperatur za pomocą wzoru

$$s_r = s_0 (1 + \alpha r)$$

gdzie s_r i s_0 oznaczają opory wł. przy temperaturach r i 0°C ., zaś α jest t. zw. *spółczynnikiem temperatury* przy zmianie oporu; dla wyższych temperatur do pomienionego wzoru wchodzi je szcze pewien składnik w kwadracie.

W stanie rozżarzonem wynosi on zaledwie połowę tego oporu.

Przyp. II. Opór wł. izolatorów zmienia się wraz z temperaturą, z ciśnieniem zewnętrznym, np. w głębiny morskiej na 4000 m opór izolacji liny jest blisko dwa razy większy od oporu na powierzchni morza, i trwaniem prądu. W pomiarach kabli zwykle podają opór izolacji po przebiegu prądu w ciągu minuty.

Opory właściwe cieczy *elektrolitycznie przewodzących* są bez wyjątku znacznie większe od oporów wł. metali. Tutaj podajemy jedynie te, które zasługują na uwzględnienie z powodu swoich zastosowań w przemyśle do stosów:

Ciecz	s w o n a 1 m i 1 m m ² przy 18° C
Kwas azotny (60°/o HNO ₃)	19600
" (80°/o HNO ₃)	37700
" siarczany (15°/o H ₂ SO ₄)	18600
" (30°/o H ₂ SO ₄)	13700
Siarczan miedzi (18,1°/o CuSO ₄)	214000
Sól gorzka (17°/o MgSO ₄)	209000
Siarczan cynku (23,5°/o ZnSO ₄)	213000
Salamoniak (25°/o NH ₄ Cl)	251000

Wodne roztwory ciał powyższych odznaczają się następującymi własnościami.

1. Przy pewnej określonej, średniej koncentracji roztwory te posiadają *najmniejszy opór właściwy* (dla trzech siarczanów podaliśmy wyżej tylko tę wartość najmniejszą).

2. Kiedy temperatura rośnie, *opór właściwy słabnie*.

Nareszcie zauważymy tu pokrótce, że magnetyzm wywiera wpływ i na opory właściwe niektórych metali. Naprz. opór właściwy bizmutu rośnie w polu magnetycznym; z przyrostu tego skorzystać można do oznaczenia natężenia pól magnetycznych. Dalej opór właściwy przewodnictwa *selenu krystalicznego* zmniejsza się przy *wystawianiu na światło* (fotofon Bell'a).

Jednostki oporu i skrzynki oporowe. Jak to już nadmieniliśmy na str. 108, jednostki oporu tudzież ich opory wielokrotne robione są z drutów metalowych; z pomienionych przyczyn wolimy do nich używać nowego srebra, niklu patentowego, stopu platyny ze srebrem a w przyszłości zapewne używać będziemy manganu z miedzią. Druty długie nawijane są na cewki drewniane. By jednak te cewki solenoidalne nie wpływały zakłcająco na igły magnesowe przyrządów mierniczych przez działania elektromagnetyczne, nawijane są podwójnie (patrz próbne pytanie do wykładu XIV).

Do porównywania zwykłych jednostek oporowych przedewszystkiem posilkować się można następującą tabelką*):

*) Do tabelki wprowadzoną została wartość *oma prawdziwego* obecnie przyjęta 1,063 zamiast dawniejszej 1,0628. Wobec tego czwarta pozioma i czwarta pionowa kolumna uległy nieznacznej zmianie. (Przyp. tłum.).

	J. S.	Om legalny	Om Br. St.*)	Om prawdziwy
Jednostka Siemens'a 1		0,9434	0,9530	0,9407
Ohm legalny	1,06	1	1,0102	0,9971
„ Br. St.**)	1,0493	0,9899	1	0,9871
„ prawdziwy	1,0630	1,0028	1,0130	1
„ (prawdziwy)				

Ustawiają się cewki oporowe w sposób wyżej przytoczony według schematu

0,1	0,2	0,2	0,5
1	1	2	5
10	10	20	50
100	100	200	500
1000	1000	2000	5000 jednostek

czyli zupełnie tak jak ciężarki *w pudle od ważenia*. Końce tych cewek przylutowane są do mocnych drutów miedzianych k (Fig. 227), które przyśrubowane są mocno do mosiężnych kawałków m. Te kawałki mosiądzu podzielone są między sobą odstępami i przyśrubowane do mocnej podstawy ebonitowej HH. W szparach pomiędzy każdymi dwoma kawałkami mosiądzu zrobione są stożkowate rozszerzenia, w które mogą wchodzić dobrze dopasowane stożkowate zatyczki (stöpsel) mosiężne. Opory, pomiędzy końce których wkładamy owe zatyczki mosiężne, są *wyłączone* z obwodu (tym sposobem suma oporów włą-

*) Om Brytańskiego Stowarzyszenia Nauk był już używany w Anglii jeszcze przed Zjazdem Paryskim 1882 r., opiera się zaś na poprzednich, mniej dokładnych pomiarach absolutnej jednostki oporowej.

czonych na powyższej figurze wynosi 63 ω lub j. S., stosownie do tego czy skrzynka oporowa zawiera omy, czy jednostki Siemens'a). Śrubki krańcowe K służą do łączenia z pozostałymi przewodnikami. Jeżeli mamy szeregi oporów, tedy łączymy je ze sobą zapomocą mocno wkrębow-

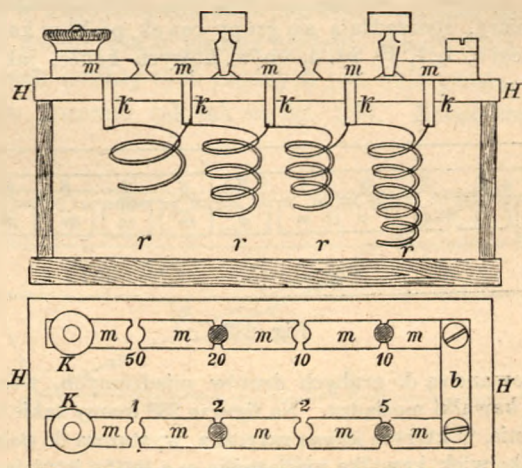


Fig. 232. Skrzynka oporowa.

nych mostków b z grubej blachy mosiężnej. Takie urządzenie skrzynki oporowej zapoczątkowane zostało przez firmę Siemens i Halske i otrzymało nazwę *reostatu**) *zatyckowego*.

*) Reostatem nazywa się wszelkie urządzenie pozwalające w dogodny sposób włączać i wyłączać opory w obwodzie prądu. W reostacie zatyckowym następuje to przez wyjmowanie i wkładanie zatyckek.

Stosownie do tego, jakie opory mają być włączone, należy wyjąć lub włożyć pewną liczbę zatyczek. Ponieważ same zatyczki z powodu zawsze niezupełnego zetknięcia metalicznego z częściami m , okazują pewien opór, przeto urządzenie to odznacza się wadą często bardzo przeszkadzającą pomiarom ściślejszym a m. że przez zatyczki wprowadza się niewiadome opory o wielkości *zmiennej*. To też tam, gdzie chodzi o ściślejsze pomiary, sporządzają się grupy cewek, po 10 w każdej, zawierającej 0, 1, 1, 10, i t. d. omów, których końce, jak wyżej,

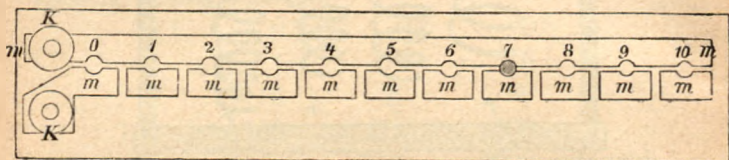


Fig. 233

prz. lutowane są do grubych drutów miedzianych, wśrubowanych w kawałki mosiądzu. Na figurze 233 mamy takie właśnie urządzenie, w którym *jedyna* zatyczka wystarcza do połączenia któregokolwiek kawałka mosiężnego m z liczby istniejących 11 z szyną mosiężną mm , jakoż na figurze włączono w ten sposób 7 jednostek. Tak urządzone opory nazywają się oporami *dekadowymi* (*dziesiątkowymi*).

Prawo Ohma. Ważne to prawo wypowiedzieliśmy już dawniej i korzystali z niego (patrz str. 341 t. I i 88. W swojej najpierwotniejszej postaci brzmi ono jak następuje:

Jeżeli pomiędzy końcami przewodnika zachodzi różnica potencjału, tedy przez przewodnik (d końca o wyższym potencyale do końca o niższym potencyale) przepływa prąd elektryczny, którego natężenie jest wprost proporcjonalne do

owej różnicy potencjału i odwrotnie proporcjonalne do oporu przewodnika. Gdy przewodnik jest jednorodny, potencjał spada stopniowo od końca do końca.

Jeżeli na pionowej osi odciętych odetniemy kawałek o długości proporcjonalnej do oporu danego przewodnika i jeżeli w każdym punkcie wystawimy wartość istniejącego tam potencjału w postaci rzędnej, wtedy linia łącząca ostateczne punkty tych rzędnych jest linią prostą, nachyloną do poziomu tak jak na fig. 234. Natężenie prądu

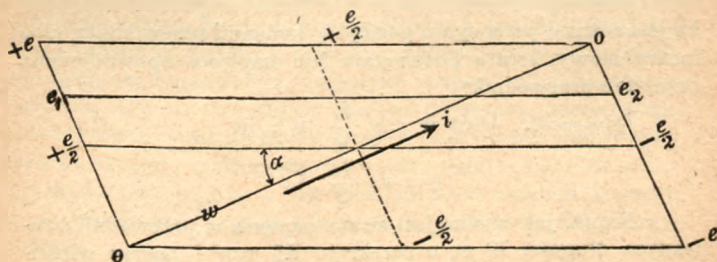


Fig. 234.

jest przytem proporcjonalne do stycznej trygonometrycznej kąta nachylenia α tych prostych. Jeżeli różnica potencjału tworzy się przez to, iż w jednym końcu utrzymujemy potencjał lub napięcie $+\frac{e}{2}$ a w drugim $-\frac{e}{2}$,

wtedy w środku przewodnika panuje potencjał zero. To samo natężenie i kierunek prądu otrzymamy i wtedy, gdy w lewym końcu utrzymywaliśmy będziemy $+e$, w prawym 0, albo lewy koniec utrzymywaliśmy na 0 i prawy

na — e , wówczas potencjał albo napięcie w środku jest $+\frac{e}{2}$. Nareszcie można również w końcach utrzymywać dowolne potencjały e_1 i e_2 , jeżeli przestrzegać będziemy zawsze $e_1 - e_2 = e$.

W tej formie prawo Ohma znajduje szerokie zastosowanie w praktyce elektrotechnicznej. Przedewszystkiem rozwiązuje ono następujące zasadnicze zagadnienia, dotyczące urządzenia przewodników elektrycznych.

1. Dany jest przewodnik o oporze właściwym s , długości l i przekroju Q ; przebiega po nim prąd i amperów. Jak wielką jest różnica potencjału pomiędzy końcami przewodnika albo innemi słowy, strata potencjału lub napięcia spowodowana przez ten przewodnik?

Odpowiedź. Otóż $w = s \frac{L}{Q}$; $e = iw$

$$e = s \cdot \frac{L}{Q} \cdot i.$$

Naprz. jak wielką jest strata napięcia w przewodniku żelaznym długości 70 m, o przekroju 2,5 mm² i oporze właściwym 0,1 wobec natężenia prądu 8 amp.?

$$e = 0,1 \frac{70}{2,5} \cdot 8 = 22,4 \text{ v}$$

$$\text{Opór } w = 0,1 \cdot \frac{70}{25} = 2,8 \text{ }\omega.$$

2. Przewodnik danej długości i danego oporu elektrycznego właściwego ma służyć do przewodzenia prądu o danem natężeniu przy danej stracie napięcia.

Jaki przekrój należy mu nadać?

Odpowiedź. $w = \frac{e}{i}$; $w = s \cdot \frac{L}{Q}$; ztąd

$$\frac{e}{i} = s \cdot \frac{L}{Q}$$

albo

$$Q = \frac{s \cdot L \cdot i}{e}.$$

Naprz. przewodnik miedziany ($s = 0,017$) ma przewodzić prąd 100 a na odległość 300 m i z powrotem ze stratą napięcia 15 voltów. Jak wielkim powinien być przekrój i średnica drutu?

$$Q = \frac{0,017 \cdot 2 \cdot 300 \cdot 100}{15} = 68 \text{ mm}^2$$

Według tego

$$d = 2 \sqrt{\frac{68}{3,1416}} = 9,3 \text{ mm.}$$

3. Na mocy prawa Ohma w najprostszy sposób możemy zmierzyć *opór izolacji* w urządzeniu elektrycznym (patrz fig. 135 na str. 227). Jedną końcówkę bardzo czułego galwanometru łączymy z ziemią (resp. z rurą gazową lub wodociągową), zaś drugą końcówkę z jednym biegunem baterji, której drugi biegun łączy się z przewodem badanym (naprz. liną elektryczną). Ponieważ ten ostatni nigdy nie jest doskonale odosobniony, przeto galwanometr wykazuje pewien prąd. Jeżeli znamy spółczynnik zamiany galwanometru (patrz dalej) i siłę elektromotoryczną e baterji, gdy w jest niewiadomym oporem izolacji, w_1 — wiadomym oporem baterji i galwanometru, otrzymujemy

$$w + w_1 = \frac{e}{i}.$$

Jeżeli naprzykład jedna podziałka skali wychyleń w galwanometrze zwierciadełkowym odpowiada prądowi $15 \cdot 10^{-8}$ amp. oraz $e = 65$ volt., $w_1 = 6000 \omega$ i jeżeli wychylenie, po uskutecznieniu wszystkich powyższych połączeń, wynosi 18 podziałek skali, wtedy

$$i = 18 \cdot 15 \cdot 10^{-8} = 27 \cdot 10^{-7} \text{ a;}$$

według tego

$$w + w_1 = 65 : 27 \cdot 10^{-7} = 2,41 \cdot 10^7 \omega.$$

Zato w_1 znika i możemy w założyć $w = 24 \cdot 10^6 \omega$.

Kiedy chodzi o zamknięty obwód prądu, w którym działają siły elektromotoryczne, wtedy prawo Ohma przybiera postać najogólniejszą:

Nateżenie prądu w obwodzie zamkniętym jest wprost proporcjonalne do sumy sił elektromotorycznych i odwrotnie proporcjonalne do sumy oporów.

Nazwijmy więc siły elektromotoryczne

$e_1, e_2, \dots$, opory $w_1, w_2, \dots$; w takim razie

$$i = \frac{e_1 + e_2 + \dots}{w_1 + w_2 + \dots} = \frac{\sum e_n}{\sum w_n}.$$

Sumę tą sił elektromotorycznych w ogóle należy rozpatrywać *algebraicznie*, t. j. siły elektromotoryczne odwrotnie skierowane powinny mieć znaki *odjemne*.

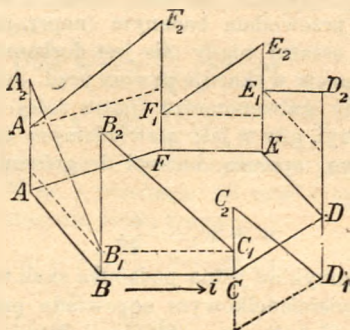


Fig. 235.

W celu graficznego przedstawienia rzeczy wyobraźmy sobie nanowo każdą część obwodu prądu, posiadającą w swoich punktach skrajnych siły elektromotoryczne, w postaci linii, której długość jest proporcjonalna do danego kawałka przewodnika. Z kawałków tych tworzymy następnie wielokąt ABCDEF (Fig. 230) i wystawiamy w punktach wierzchołkowych prostopadłe, odpowiadające

istniejącym tam wartościom potencjału lub napięcia. Wtedy najpierw spada napięcie na przestrzeni $\overline{AB}$ od $\overline{AA_2}$ do $\overline{BB_2}$; atoli na początku $\overline{BC}$ przybywa do $\overline{BB_1}$ siła elektromotoryczna $\overline{B_1B_2} = e_2$ działająca w B , tak że potencjał nagle wznosi się do wartości $\overline{BB_2}$; poczem na $\overline{BC}$ nanowo jednostajnie spada do wartości $\overline{CC_1}$, przytem linia $\overline{B_2C_1}$ pochyla się do $\overline{BC}$ pod tym samym kątem α co $\overline{A_2B_1}$ do $\overline{AB}$ i t. d. Wreszcie na ostatnim kawałku przewodnika od $\overline{FF_2}$ do $\overline{AA_1}$ potencjał spada, by znowu w A naraz wzrosnąć o wartość $\overline{A_1A_2} = e$. Kawałki $\overline{A_1A_2}$, $\overline{B_1B_2}$, ... $\overline{F_1F_2}$ przedstawiają różnice potencjału albo siły elektromotoryczne. Bardziej oczywistym staje się ten obraz, gdy przetniemy figurę wzdłuż krawędzi $\overline{AA_2}$ i wygniemy w jednej płaszczyźnie, co pozwoli nam otrzymać rysunek taki jak na fig. 236.

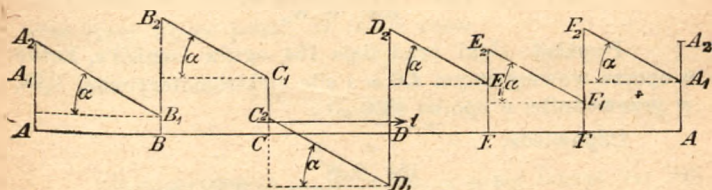


Fig. 236.

W tej postaci prawo Ohma bywa stosowane zwłaszcza wtedy, gdy pragniemy obliczyć natężenie prądu, wytwarzanego przez generator prądu, w danym oporze przewodnika.

Łączenie baterji. Skoro mamy pewną liczbę jednokowych ogniw, które mają tworzyć jedną baterję, ogniwa

te 1) można łączyć w ten sposób, iżby każdy biegun ogniwa poprzedzającego (+) łączył się z biegunem (—) ogniwa następnego. Łączenie to, jak to już nadmieniliśmy na str. 9 t. I, nosi nazwę łączenia *szeregowego* albo *przemiennego* (jedno za drugim). Biegun (—) pierwszego i (+) ostatniego ogniwa są *biegunami bateryi*.

2. Wszystkie bieguny (+) łączą się ze sobą, podobnież wszystkie (—). Łączenie zwie się *równoległem*.

3. Z ogniw tworzą się grupy równoległe, poczem grupy pojedyncze łączymy w szeregi. Łączenie to zowie się *mięszanem*.

W pierwszym wypadku w razie n ogniw, każde o sile elektromotorycznej e i oporze wewnętrznym w_i , połączonych przez opór zewnętrzny w_a , prawo Ohma daje

$$i = \frac{ne}{nw_i + w_a}.$$

Przykład. Jaki prąd daje 154 ogniw Daniell'a, każde o oporze wewnętrznym 4,6 ω i sile elektromotorycznej 0,98, w przewodniku o oporze 4800 ω ?

Odpowiedź:

$$i = \frac{154 \cdot 0,98}{154 \cdot 4,6 + 4800} = 0,0274 \text{ a.}$$

Strata napięcia w bateryi wynosi

$$i \cdot 154 \cdot 4,6 = 19,4 \text{ voltów.}$$

Różnica potencjału pomiędzy końcówkami czyli t. zw. *napięcie końcówek* wynosi

$$i \cdot 4800 = 131,5 \text{ voltów}$$

Ten rodzaj łączenia prądów jest najkorzystniejszy, jeżeli opór zewnętrzny jest duży w porównaniu z oporem wewnętrznym bateryi.

2. N ogniów w razie układu równoległego przedstawia jedno ogniwo o sile elektromotorycznej e i oporze wewnętrzym $\frac{w_i}{n}$. Według tego

$$i = \frac{e}{\frac{w_i}{n} + w_a}$$

Łączenie to wraz z małym oporem zewnętrznego zapewnia największe wartości i .

Przykład. Jaki prąd dąłoby ogniwa powyższe, gdyby zostały sprzężone równolegle a potem zamknięte przez krótki i gruby drut żelazny o oporze 0,03 ω .

Odpowiedź:

$$i = \frac{0,98}{\frac{4,6}{154} + 0,03} = 16,3 \text{ a.}$$

3. W wypadkach pośrednich z liczby n ogniów tworzą się grupy równoległe zawierające N ogniów, poczem $\frac{N}{n}$ grup łączy się po kolei. W takim razie

$$i = \frac{\frac{N}{n} e}{\frac{N}{n} \cdot \frac{w_i}{n} + w_a}$$

Dzielnosc (skutek) prądu zużyta w samej baterji (str. 86)

$$K_i = i^2 \frac{N}{n} \cdot \frac{w_i}{n}$$

Dzielnosc prądu w przewodzie zewnętrznym albo dzielnosc użyteczna stanowi

$$K_a = i^2 \cdot w_a$$

Całkowita dzielnosc prądu wynosi

$$K = i^2 \left(\frac{N}{n} \cdot \frac{w_i}{n} + w_a \right).$$

Ponieważ skutek prądu w baterii wytwarza się przez spalanie metalu elektrododatniego naprz. cynku, przeto w praktycznych zastosowaniach, dajmy na to w telegrafii, wypadaloby zważać na to, by wybrany układ dawał dla skutku zewnętrznego możliwie największy ułamek skutku całkowitego; wtedy iloraz

$$g = \frac{K_a}{K} = \frac{w_a}{\frac{N}{w} \cdot \frac{w_i}{n} + w_a}$$

nazywamy *wydajnością bateryi*.

Jeżeli stratę napięcia w baterii nazwiemy e_i , napięcie końcówek e_a , tedy również

$$K_i = i \cdot e_i ; K = i e_a ; K = i \cdot (e_i + e_a).$$

Z tego powodu także

$$g = \frac{e_a}{e_i + e_a} = \frac{\text{Napięcie końcówek}}{\text{E. M. S.}}.$$

To co tutaj powiedzieliśmy o baterii, stosuje się i do innych generatorów prądu, naprz. do *dynamomaszyn*. W baterii chodzi głównie o następujące pytania: otrzymać zapomocą ogniów o danej E. M. S. e i danym oporze wewnętrznym w_i prąd o natężeniu i ; żądane napięcie końcówek jest e_a , wydajność ma być g . Ile ogniów należy połączyć ze sobą równolegle, ile zaś w ogóle?

Ponieważ napięcie końcówek w każdej z grup równoległych w układzie szeregowym ma wartość $g e$, przeto wewnętrzna strata napięcia w każdej grupie wynosi $e - g e = e (1 - g)$.

Podług prawa Ohma

$$\frac{e (1 - g)}{i} = \frac{w_i}{n},$$

jeśli w każdej grupie znajduje się n równolegle połączonych ogniw.

Wynika ztąd

$$n = \frac{w_i \cdot i}{e(1-g)}.$$

Liczba n_1 grup powinna być tak wybrana, ażeby $n_1 g e = e_a$, a zatem

$$n_1 = \frac{e_a}{g e}.$$

Wtenczas całkowita liczba ogniw

$$N = n n_1 = \frac{w_i \cdot i \cdot e_a}{e^2 g (1-g)}.$$

Przykład. Stosami Daniell'a chcą zasilić dwie lampy żarowe równolegle złączone o napięciu 64 voltów i natężeniu prądu w każdej 0,75 a. Każde z ogniw posiada siłę elektromotoryczną 1 volt i opór wewnętrzny 0,4 ω . Ile ogniw należy połączyć równolegle a ile takich grup naprzemian tudzież ile wszystkich ogniw należy wziąć w ogóle, jeżeli wydajność ma wynosić $g = 0,8$?

Odpowiedź:

$$n = \frac{0,4 \cdot 1,5}{1(1-0,8)} = 3$$

$$n_1 = \frac{64}{1 \cdot 0,8} = 80$$

$$N = n n_1 = 240$$

t. j. tego rodzaju ogniwa nie nadają się do celu powyższego, gdyż wypadaloby ich użyć zawiele.

Do celów lekcyjnych zadanie po większej części tem się różni, że *dana jest liczba ogniw*. Wówczas należy je bądź co bądź tak ugrupować, by z nich otrzymać prąd jak najmocniejszy, nie bacząc na korzystną wydajność. Można dowieść, iż ma to zawsze miejsce, gdy *opór wewnętrzny*

bateryi równa się zewnętrznemu; chcąc więc otrzymać z N ogniwi jak najmocniejszy prąd, należy obrać n takie ażeby

$$\frac{N}{n} \cdot \frac{w_i}{n} = w_a.$$

Wtedy wydajność zawsze wynosi 0,5. Do szybkiego otrzymywania z danej liczby ogniwi niezbędnych przekształceń, używa się t. zw. *pachytrop'u*.

Pytania do wykładu XXIV.

1. Jak się znajduje opór elektryczny przewodnika przyzmatycznego lub cylindrycznego?

2. Co rozumiemy przez opór właściwy materiału?

3. Masz żelazny przewodnik telegraficzny 48 km długi i 4 mm gruby. Ile omów przedstawia jego opór przy 15° C? Jak się on zmienia, jeżeli temperatura spada do —5° lub wznosi się do + 25°?

4. W jakich ciałach opór przewodnictwa maleje, gdy temperatura rośnie?

5. Jakie jednostki oporu najczęściej są używane?

6. Jakie urządzenie posiada skrzynka oporowa Siemens'a i Halskego?

7. Jak są urządzone opory dziesiątkowe i jakie mają zalety?

8. Jak brzmi prawo Ohma dla części obwodu i dla zamkniętych obwodów tudzież jak się daje graficznie przedstawić?

9. Mamy pewną liczbę jakichkolwiek ogniwi. Jak je należy łączyć, ażeby osiągnąć z nich prąd największy a) gdy opór zewnętrzny jest bardzo duży, b) gdy opór zewnętrzny jest bardzo mały?

10. W jaki sposób zapomocą danej bateryi otrzymujemy przy danym oporze zewnętrznym największe natężenie prądu?

11. Co rozumiesz przez wydajność bateryi? Jak się ją znajduje?

12. Jaka wydajność odpowiada możliwie największemu natężeniu prądu?

WYKŁAD XXV.

Treść: Proste odgałęzienie prądu. — Zastosowania zwykłego odgałęzienia prądu. — Prawa Kirchhoffa. — Most Wheatstone'a. — Samoindukcja. — Określenie elektromotorycznej siły baterii, podczas dostarczania prądu. — Pytania.

Proste odgałęzienie prądu. Mówimy o *prostym* odgałęzieniu prądu, jeżeli w pewnym punkcie A (fig. 237) przewodnik dzieli się na dowolną liczbę części o oporach $w_1, w_2, \dots$, które wszystkie łączą się nanowo w jeden prze-



Fig. 237.

wodnik w innym punkcie B. Zadanie nasze, jeżeli znamy natężenie prądu w części nie rozgałęzionej obwodu, polega na szukaniu natężeń prądu $i_1, i_2, \dots$ w odnogach pojedynczych. Doprowadza nas do tego prawo Ohma w pierwszym jego tłumaczeniu. Gdy bowiem e stanowi różnicę potencjału pomiędzy punktami A i B, mamy

$$i_1 = \frac{e}{w_1} ; i_2 = \frac{e}{w_2} ; \dots$$

i naturalnie, zupełnie jak w przewodach gazowych i wodociągowych, które się dzielą na gałęzi, musimy mieć

$$i = i_1 + i_2 + \dots$$

Nadając tutaj prądom $i_1, i_2, \dots$ wartości powyższe, znajdujemy

$$i = \frac{e}{w_1} + \frac{e}{w_2} + \dots = e \cdot \Sigma \frac{1}{w_n}.$$

Wszystkie przeto przewodniki dają się zastąpić jednym tylko, którego opór daje się obliczyć z oporów gałęzi pojedynczych podług wzoru

$$1/w = \Sigma 1/w_n.$$

Następnie

$$e = i_1 w_1 = i_2 w_2 = \dots$$

albo

$$i_1 : i_2 = w_2 : w_1 \quad \text{i t. d.}$$

Czyli *natężenia prądu w gałęziach pojedynczych mają się do siebie odwrotnie jak ich opory.*

Zastosowania prostego odgałęzienia prądu. Z nader licznych i praktycznych zastosowań prostego odgałęzienia prądu wymienimy tu szczegółowo tylko następujące:

1. **Zamknięcie boczne czyli shunt** (czyt. szent, po polsku upust). Jeżeli chcemy zapomocą galwanometru stycznych lub innego jakiego galwanometru mierzyć prąd, któ-

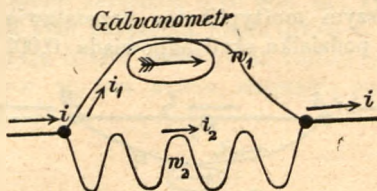


Fig. 237.

rego natężenie przekładza zakres mierzenia tym przyrządem, możemy wprowadzić przy galwanometrze *zamknięcie boczne* w postaci oporu o wiadomej wielkości w_2 , przez który wtedy

przechodzić będzie większa lub mniejsza część prądu i . Zazwyczaj sporządzają szereg takich oporów w_2 , ażeby

przez pierwszy $i_1 = 0,1 i$; $i_2 = 0,9 i$

„ drugi $i_1 = 0,01 i$; $i_2 = 0,99 i$

i t. d.

Aby to osiągnąć, należy mieć

$w_2 = 1/9 w_1$ i $w_2 = 1/99 w_1$ i t. d. (patrz fig. 237).

Ażeby stosunki oporowe pozostały bez zmiany, te boczne zamknięcia powinny być robione z *tego samego materiału co drut multiplikatora w galvanometrze*. Ażeby sam prąd nie wytwarzał nierównego rozgrzania, należy brać drut do szentu tym grubszy, im większy prąd przezeń ma przechodzić.

2. Mierzenie różnic potencjału i t. d. zapomocą galvanometru. Gdy mamy galvanometr o wiadomym lecz bardzo znacznym oporze w_1 i wiadomym spólczynniku zamiany, znajdujemy różnicę potencjału pomiędzy punktami A i B pewnego przewodnika, łącząc końcówki galvanometru z punktami A i B i mierząc natężenie prądu i (fig. 239); wtedy różnica potencjału

$$e = i_1 w_1$$

Do tego celu doskonale nadaje się *galvanometr skręceń* (Torsionsgalvanometer) *Siemensa i Halskiego* opisany na str. 235 do 288, którego budowę jednak tu przypomnimy. Wykonują go na sposób dwojaki.

W pierwszym multiplikator przedstawia opór 1 oma wtedy jedna podziałka skali odpowiada 0,001 ampera; za-



Fig. 239.

kres mierzenia dosięga 170 podziałek skali czyli 0,17 a. W drugim przyrządzie opór multiplikatora wynosi 100 omów i je-

dna podziałka skali odpowiada 0,0001 a; zakres mierzenia dochodzi 0,017 a. Do każdego przyrządu dodana jest skrzynka oporowa, która włącza się przed przyrządem i podnosi całkowity opór zamknięcia bocznego w pierwszym do 10, 100, 1000 lub 10000 i w drugim do 1000, 10000 i 100000 omów. Włączenie odbywa się przez włożenie zatyczki. Fig. 240 wskazuje schematyczne urządzenie takiej skrzynki oporowej

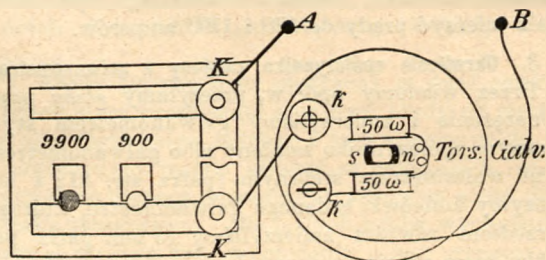


Fig. 240.

przy galwanometrze drugiego rodzaju oraz połączenie jej z galwanometrem. Tym sposobem całkowity opór bocznego zamknięcia zgodnie z załączonym rysunkiem wyniósłby 10000 Ω . A zatem skręceniu o 65 pod. sk., które odpowiada w przyrządzie tym natężeniu prądu 0,0065 a, odpowiadałaby różnica potencjału 0,0065 · 10000 = 65 voltów¹⁾.

Gdy opór w_2 jest znany, natężenie prądu określa się przez i_2

$$i_2 = \frac{e}{w_2}$$

i całkowite natężenie prądu

$$i = i_1 + i_2$$

*) Na tej samej zasadzie opierają się techniczne wskaźniki napięcia w instalacjach oświetlenia elektrycznego, są to więc galwanometry o wysokim oporze.

Metoda ta szczególnie nadaje się do ścisłego mierzenia potężnych prądów, jakie wydzarżają się w zakładach oświetlenia elektrycznego. Do tego celu firma Siemens i Halske dostarcza grubych kabli miedzianych o oporze $\frac{1}{999}$ i $\frac{1}{9999}$ oma, które doprowadzają prąd do mierzenia go, podczas gdy do końcówek galwanometru skręceń przyłącza się opór 1 oma. Wtenczas $i_1 = 1000i$, tudzież $i = 10000i_1$, czyli metoda ta pozwala mierzyć prądy do 170 i 1700 amperów.

3. Określenie współczynnika zamiany w galwanometrach czułych. Przez wiadomy opór w_2 przesyłamy słaby prąd, którego natężenie i zmierzylśmy galwanometrem stycznych o znacznym współczynniku zamiany albo galwanometrem skręceń lub woltametrem srebrnym (patrz str. 81); z końcami w_2 łączymy końcówki badanego galwanometru, którego opór w_1 przedtem również zmierzylśmy (o tem patrz później). W takim razie różnica potencjału pomiędzy końcami w_2

$$e = i w_2,$$

jeżeli przez w_2' oznaczymy opór podwójnego przewodnika złożonego z w_2 i w_1 ; opór ten podawnemu znajdujemy na zasadzie wzoru

$$\frac{1}{w_2'} = \frac{1}{w_2} + \frac{1}{w_1}$$

albo

$$w_2' = \frac{w_1 w_2}{w_1 + w_2}.$$

Atoli różnicy potencjału $e = i w_2'$ odpowiada w galwanometrze prąd o natężeniu

$$i_1 = \frac{e}{w_1} = \frac{i w_2'}{w_1} = i \frac{w_2}{w_1 + w_2}.$$

Gdy naprz. $w_2 = 0,1 \omega$ i $w_1 = 4000 \omega$, mamy

$$i_1 = i \cdot \frac{0,1}{4000 + 0,1} \approx \frac{i}{40000}.$$

Gdyby $i = 0,01$ a, mielibyśmy $i_1 = \frac{1}{4000000}$ ampera.

Podług sposobu tego można badać najczulsze galwanometry. Zmieniając w_2 , można znaleźć wychylenia galwanometru dla rozmaitych natężeń prądu i_1 , a tem samem zbadać zależność pomiędzy wychyleniem a natężeniem prądu. Przebieg ten nazywamy *mianowaniem i kalibrowaniem galwanometru*.

4. Porównywanie oporów zapomocą galwanometru różnicowego. *) Jeżeli dwie cewki galwanometru zrobimy z drutu

*) Każdy galwanometr opatrzone w dwie cewki druciane, przez które przebiegają albo dwa prądy od siebie niezawisłe albo dwie gałęzi jednego i tego samego prądu w kierunku przeciwnym, można uważać za *galwanometr różnicowy*. Takie cewki na magnes umieszczony pomiędzy niemi działają w kierunku przeciwnym. Dla małych kątów wychylenia igły magnesowej styczna kąta wychylenia α jest proporcjonalna do różnicy natężenia prądów w obu cewkach, czyli $\operatorname{tg} \alpha = c_1 i_1 - c_2 i_2$, gdzie i_1, i_2 są odpowiedniami natężeniami prądów, zaś c_1, c_2 stałymi galwanometrycznymi obu cewek. Przez właściwą regulację prądu w obu cewkach można dopiąć tego, iż całkowite ich działanie na magnes będzie zerem, a wtedy $\operatorname{tg} \alpha = 0 = c_1 i_1 - c_2 i_2$. Gdy więc cewki tak są zbudowane, iż $c_1 = c_2$, można ztąd wnosić, że $i_1 = i_2$. Zwyczajnie obie cewki galwanometru są ściśle jednakowe, o oporze zupełnie jednakowym, o czem najlepiej przekonać się można, przepuszczając przez nie kilkakrotnie ten sam prąd stały, tak, aby działanie na igłę galwanometru było wprost przeciwnie. Jeżeli przytem igła pozostaje w spoczynku, wnosimy, iż stałe galwanometryczne obu cewek są równe. Galwanometru różnicowego używa się do ustalenia, czy dwa prądy posiadają jednakowe natężenie oraz do tego, by ubocznie przy pomiarach oporów z równości prądów wnosić o równości oporów. Do tego celu galwanometr różnicowy był po raz pierwszy pomyślany i użyty przez A. Becquerel'a (Przyp. tł.)

równoległe do siebie nawiniętego i przez nie przesłamy ten sam prąd tak, ażeby działania obu połów drutu na igłę były sobie przeciwne, wtedy działania te zniosą się wzajemnie i galwanometr nie da *żadnego wychylenia*. Teraz początek jednego i koniec drugiego drutu łączymy (fig. 241) z końcówką 1 (DG oznacza na figurze galwanometr różnicowy). Tę końcówkę 1 łączymy za pośrednictwem wtrąconego klucza S z jednym biegunem baterji B, końcówki zaś 2 i 3, każdą z osobna, zapomocą oddzielnego przewodnika z drugim biegunem tejże baterji. W jedną gałąź wtrącamy skrzynkę oporową WK, zaś w drugą między końcówkami 4 i 5 opór mierzony w. Z początku ten ostatni jest wyłączony zapomocą mostu z grubej blachy mosiężnej (t. j. stanowi boczne zamknięcie względem przewodnika o znikomym oporze, tak że praktycznie przez w prąd nie przechodzi). Podobnie wyłączamy wszystkie opory skrzynki WK. Jeżeli teraz opory w obu połowach są jednakowe, wtedy przez obie cewki

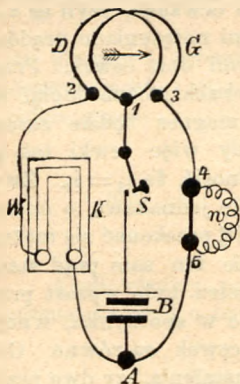


Fig. 241.

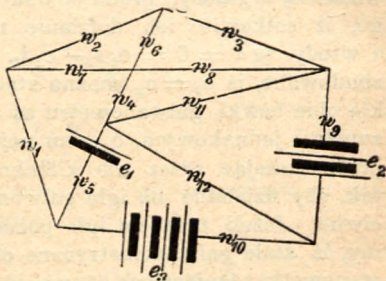


Fig. 242.

multiplikatorów w galwanometrze przebiegają prądy jednokowe co do natężenia i przeciwne co do kierunku; igła nie zdradza żadnego wychylenia. Gdyby jednak wychylenie było,

dodajemy w jednej lub drugiej gałęzi tyle oporu, iżby ono po zamknięciu klucza S zupełnie znikło. Jeżeli teraz usuniemy most, musimy w celu zniweczenia nanowo wychylenia, wyjąć z WK tyle zatyczek, aż opór przez to wtrącony zrówna się zupełnie z oporem w.

Prawa Kirchhoffa. Jeżeli mamy układ przewodników bardziej złożony naprz. w postaci sieci, co zdarza się po większych urządzeniach elektrycznych przeznaczonych do oświetlenia i przesyłania siły, dajmy na to, podobny do przedstawionego na fig. 242, w takim razie natężenia prądu w gałęziach pojedynczych takiego układu określają się według następujących praw ogólnych, znalezionych przez Kirchhoffa:

Prawo 1. *Jeżeli natężenia prądów przybywających do pewnego punktu rozgałęzień sieci będziemy uważali za dodatnie, wychodzących zaś za ujemne, w takim razie suma algebraiczna natężeń prądu w każdym punkcie rozgałęzień sieci równa się zeru.*

Prawo 2. *Dla każdego obwodu zamkniętego, który możemy utworzyć z przewodników sieci, suma algebraiczna iloczynów natężenia prądu przez opór równa się sumie algebraicznej sił elektromotorycznych istniejących w tym obwodzie.*

Jakoż wyżej

$$i_1 + i_2 + i_7 = 0 \quad \text{i t. d.}$$

a dalej

$$i_1 w_1 + i_7 w_7 + i_4 w_4 + i_5 w_5 = e_1 \quad \text{i. t. d.}$$

I w drugim prawie przeciwnym siłom elektromotorycznym i prądom powinniśmy nadać znaki ujemne. Gdy sieć jest rozległa, rachunek jest dość zawily. Z tego powodu ograniczymy się tutaj do *jednego tylko* ważnego za-

stosowania wielokrotnego rozgałęzienia prądu, które rozwiązują się w prosty graficzny sposób.

Most Wheatstone'a. Kombinacja ta służy przede wszystkim do mierzenia oporów; schematycznie wyobraża ją fig. 243. Składa się ona tutaj z czterech oporów $abcd$

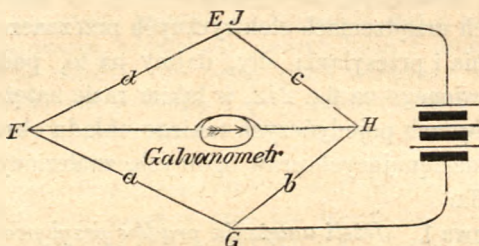


Fig. 243.

tworzących jeden czworokąt $GH(EJ)F$. Kąty G i (EJ) po-

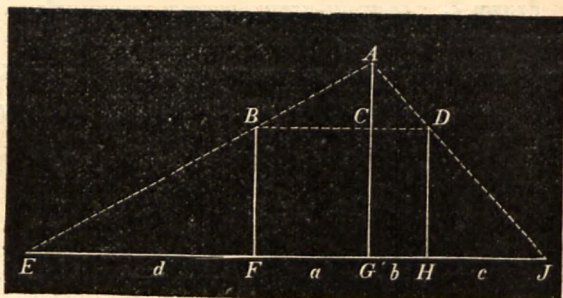


Fig. 244.

łączone są z biegunami bateryi, kąty F i H z końcówkami

czulego galwanometru. Wystawmy sobie, że teraz w EJ przecięliśmy czworokąt i wyprostowaliśmy go jak na fig. 244 w jedną linię prostą EFGHJ. Następnie w każdym punkcie narożnym wystawiamy wartość istniejącego tam potencjału w postaci rzędnej, która to wartość w (EJ) niechaj się równa zeru, zaś w G równa $\overline{GA}$, w F i FH odpowiednio $\overline{FB}$ i $\overline{HD}$. Wtedy oczywiście przez galwanometr *żaden prąd* nie przepływa, jeśli $\overline{FB} = \overline{HD}$. W takim razie mamy

$$\triangle DCA \sim JHD, \text{ i skutkiem tego } \frac{\overline{CD}}{\overline{HJ}} = \frac{\overline{CA}}{\overline{HD}}$$

tudzież

$$\triangle BCA \sim EFB, \text{ i skutkiem tego } \frac{\overline{CB}}{\overline{FE}} = \frac{\overline{CA}}{\overline{FB}}$$

lub też, ponieważ $\overline{FB} = \overline{HD}$,

$$\frac{\overline{CD}}{\overline{HJ}} = \frac{\overline{CB}}{\overline{FE}}$$

albo, co łatwo można wywnioskować z fig. 244

$$\frac{b/c}{/c} = \frac{a/a}{/a}.$$

W szczególnym wypadku kiedy $b=c$, wówczas $a=d$, gdy zaś $b = 10\ c$, albo $100\ c$, wtedy $a = 10\ d$ lub $100d$, z kąd $d = \frac{a}{10}$ albo $= \frac{a}{100}$.

Bardzo odpowiednią formę mostu Wheastone'a przedstawiają załączone figury 245 (widok z góry) i 246 (części łączące).

Część a składa się tu z pomienionego wyżej reostatu zatyczkowego. Urządzenie to na pozór zbudowane jest ściśle tak samo jak skrzynka oporowa. Między końcówkami W_1 i W_2 przypada mierzony opór (d na fig. 243, z B_1 i B_2

połączone są bieguny baterji, z G_1 i G_2 druty przewodzące do galwanometru R . Wyjmując odpowiednie zatyczki, możemy b i c nadać wartości 10 lub 100 omów (albo j. S.).

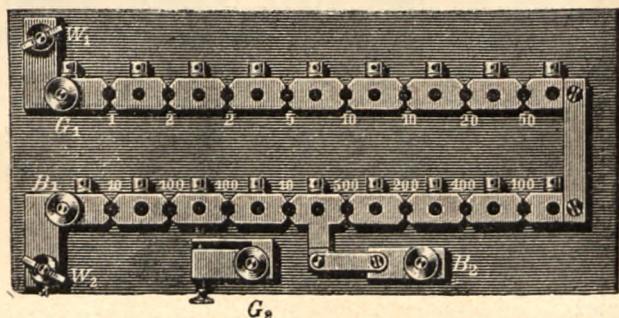


Fig. 245.

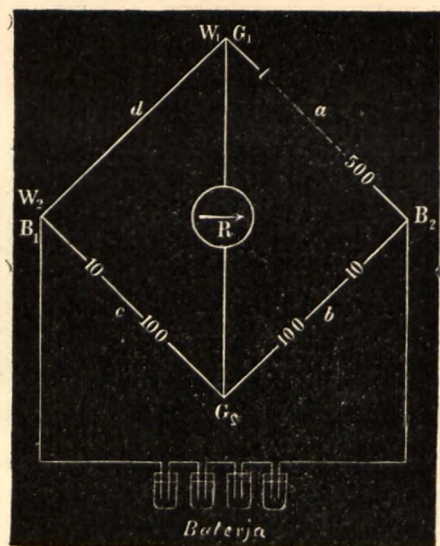


Fig. 246.

Należy tylko z a wyjąć tyle zatyczek, aż galwanometr przestanie dawać wychylenie, gdy najpierw zapomocą klucza zamkniemy prąd baterji w B_2 a potem przez naciśnięcie guzika w G_2 zamkniemy druty idące do galwanometru.

W takim razie $d = a$, lub $= \frac{1}{10} a$, albo $= 10 a$, stosownie do tego czy stosunek $\frac{b}{c} = 1$, lub $= 10$ albo $\frac{1}{10}$. Prąd baterji zamyka się zawsze tylko na czas krótki, ażeby możliwie unikać rozgrzewania drutów w reostacie.

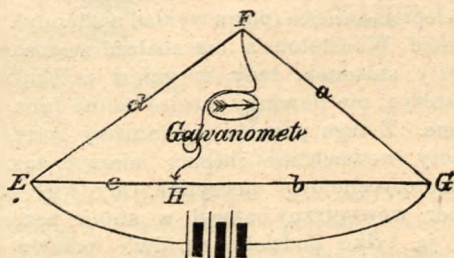


Fig. 247.

W moście Wheatstone'a (odmiana Kirchhoffa) opory b i c robią się z drutu wyciągniętego, najlepiej ze stopu platyny ze srebrem. Jeden koniec przewodnika od galwanometru połączony jest z ruchomym kontaktem H (fig. 247). a jest oporem określonej wielkości (równym 1, 10, 100 omów lub j. S.); d jest znowu oporem mierzonym. Wówczas przesuwamy zetknięcie H dopóty, aż galwanometr nie wykaże żadnego prądu. Mamy wtenczas jak poprzednio

$$\frac{b}{c} = \frac{a}{a'}$$

przeto

$$d = a \cdot \frac{c}{a'}$$

Jeśli drut EG jest jednakowy, to $\frac{c}{a} = \frac{\overline{HE}}{\overline{HG}}$ czyli równa się stosunkowi długości obu odcinków.

Jeżeli chcemy mierzyć opory płynów naprz. opory ogniów, tedy prądy ciągle wytworzyłyby skutkiem polaryzacji siły elektromotoryczne przeciwdziałające; wówczas proste stosunki dla mostu Wheatstone'a już nie miałyby znaczenia. Z tego powodu zamiast baterji w tym razie używa się przyrządu indukcyjnego z przerywaczem stroikowym (patrz wykład następujący), który daje prądy zmienne. Zamiast galvanometru należy wtedy wziąć elektrodynamometr (patrz str. 295 t. I) albo lepiej — telefon (patrz wykład następny). Gdy bowiem w moście Wheatstone'a ma znaleźć zastosowanie powyższy prosty stosunek, tedy w gałęzi przekątnej, gdzie wtrącono baterję, nie powinny istnieć żadne inne siły elektromotoryczne. Z tego powodu powinniśmy łączyć baterję, których opory wewnętrzne chcemy mierzyć, tak, aby ich siły elektromotoryczne były nieczynne. Gdy więc pragniemy oznaczyć opór wewnętrzny baterji w stanie bezprądowym, powinniśmy ją tylko podzielić na dwie połowy a potem sprzęgnąć je przeciwko sobie jak na fig. 248; punkty W_1 i W_2

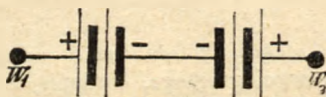


Fig. 248.

należy wtedy połączyć z końcówkami, również zaznaczonymi na fig. 245. Jeżeli pragniemy mierzyć opór wewnętrzny baterji podczas dostarczania prądu, dzielimy ją również na dwie różne połowy, podobnie jej opór zewnętrzny i łączymy je tak jak na fig. 249. Wtedy punkty środkowe obu połów obwodu zewnętrznego prądu mają potencjał jednaki i dają się niezwłocznie łączyć z końcówkami W_1 i W_2 . W ten sposób zapomocą mostku zasilanego w prąd zmienny,

znajdujemy wielkość $\frac{w+w_1}{4}$, gdzie w oznacza opór baterji, w_1 opór zewnętrzny (gdyż obie połowy, z których każda przedstawia opór $\frac{w+w_1}{2}$, sprzężone są równolegle z sobą). Tę ostatnią metodę zawdzięczamy v. Lang'owi.

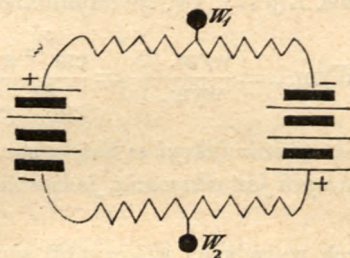


Fig. 249.

Jeżeli most Wheatstone'a — Kirchhoff'a ma służyć do prądów zmiennych, wtedy cewki oporowe powinny być wolne od *samoindukcyi* (patrz niżej); praktycznie osiąga się to w cewkach dwunitkowych (bifilar), starannie nawiniętych z drutu złożonego we dwoje*) i odosobnionego tylko cieniutką warstwą jedwabiu.

Samoindukcją nazywamy zjawisko polegające na tem że, w solenoidzie przy tworzeniu się własnego pola powstaje prąd wzbudzony przeciwnego kierunku a przy znikaniu tego pola prąd wzbudzony tego samego kierunku.

Prądy te nazywają się także *ekstraprądami*. Ekstraprąd zamykania opóźnia wzrost, ekstraprąd otwierania opóźnia zniknięcie prądu głównego.

*) W obu połowach takiego drutu prąd wzbudzony przez *samoindukcję* posiada kierunek przeciwny, zatem działanie indukcji może być tylko bardzo małe (Przyp. tł.).

Jeżeli w solenoidzie niema rdzenia żelaznego, wtedy wielkość całkowitego pola Φ wzbudzonego przez prąd i proporcjonalna jest do natężenia prądu. Możemy więc napisać

$$\Phi = Li$$

gdzie współczynnik L jest t. zw. *współczynnikiem samoindukcji*

$$\text{wym. } L = \frac{\text{wym. } \Phi}{\text{wym. } i} = \frac{\text{cm}^{3/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}}{\text{cm}^{1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}} = \text{cm},$$

t. j. *współczynnik samoindukcji w absolutnych jednostkach elektromagnetycznych jest długością, jednostką zaś jego jest centymetr.*

W prostych wypadkach współczynnik samoindukcji daje się obliczyć; gdy zaś rachunek nie daje się przeprowadzić,

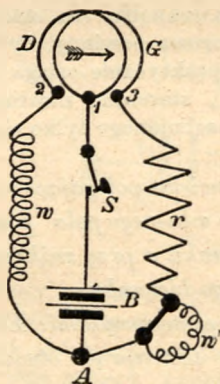


Fig. 250.

znajdujemy L na drodze doświadczalnej. Miarodajną jest metoda następująca, która polega na użyciu galwanometru różnicowego w charakterze galwanometru *balistycznego* (por. str. 135). W gałęź Nr 2 wtrącamy cewkę w (fig. 250). W drugiej gałęzi $A3$ znajdujemy mały opór w' , który w pierwszej chwili odgradzony jest przewodnikiem praktycznie nie przedstawiającym oporu, tudzież wolny od indukcji reostat r . Przedewszystkiem wyrównywany podczas zamknięcia klucza s opór r wolny od indukcji tak,

aby igła galwanometru nie odchyłała się t. j. czynimy $r = w$. Wtenczas nagle otwieramy klucz S .

Ekstraprąd powstający w w przepływa wtedy od jednego końca w przez 2 do 1, skąd dostaje się do 3, a potem przez r i A powraca do drugiego końca w, przebiega więc przez oba nawinięcia galwanometru *w znaczeniu jednakowym*. Otrzymujemy przeto chwilowe wychylenie galwanometru α , co pozwoli nam podług tego co dowiedzieliśmy się na str. 105 znaleźć ilość elektryczności w ruch wprowadzonej; jest ona

$$q = 2c \frac{T}{\pi} \sin \frac{\alpha}{2}.$$

Lecz podług str. 101 ten całkowity prąd równa się także

Całkowita liczba znikających linii sił

Całkowity opór obwodu,

Nazwijmy opór, który istnieje nazewnątrż w i r w każdym obwodzie A 21 oraz A 31 a który w gruncie rzeczy składa się z oporu jednej połowy nawinięcia galwanometru w_1 , w takim razie całkowity opór obwodu równa się $2(w + w_1)$, całkowita zaś liczba linii sił $\Phi = Li$. A zatem

$$q = \frac{Li}{2(w + w_1)},$$

gdzie i jest natężenie prądu przepływającego po zamknięciu S w każdej z połów A 21 oraz A 31; gdy więc oznaczymy różnicę potencjału pomiędzy punktami A i 1 przez e, otrzymamy według

prawa Ohma $i = \frac{e}{w + w_1}$, a zatem

$$q = \frac{Le}{2(w + w_1)^2} = 2c \cdot \frac{T}{\pi} \sin \frac{\alpha}{2}.$$

Poczem usuwamy most, naciskamy S i uważamy odchylenie trwale na galwanometrze, pochodzące od różnicy prądów w A 21 i A 31. Nazwijmy kąt odchylenia β , w takim razie

$$\frac{e}{w + w_1} - \frac{e}{w + w_1 + w'} = c \tan \beta$$

albo

$$e \cdot \frac{w + w_1 + w' - (w + w_1)}{(w + w_1)(w + w_1 + w')} = c \tan \beta.$$

Ponieważ w' bierze się tak małe, iż wobec $w + w_1$ staje się znikomem, ostatecznie możemy napisać

$$\frac{e}{(w + w_1)^2} \cdot w' = \operatorname{ctang} \beta.$$

A zatem

$$\frac{e}{(w + w_1)^2} = \operatorname{ctang} \beta.$$

Wstawiając to wyżej, znajdziemy

$$\frac{L e \operatorname{tang} \beta}{2 w'} = 2 c \cdot \frac{T}{\pi} \cdot \sin \frac{\alpha}{2}.$$

Wynik ostateczny będzie

$$L = 4 w' \cdot \frac{T}{\pi} \cdot \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{\operatorname{tang} \beta}.$$

Gdy w' dane jest w omach, T w sekundach, otrzymamy, ponieważ według str. 95 om równa się szybkości 1 kwadransu ziemskiego sekundę, L w kwadransach.

Tym sposobem *praktyczną jednostką współczynnika samoindukcji jest kwadrans południka ziemskiego albo 10⁹ cent metrów.*

Siłę elektromotoryczną baterji mierzyć możemy podczas dawania przez nią prądu określonego, jeżeli zmierzony został opór tejże baterji wyżej wymienioną metodą Lang'a i oprócz tego zauważone zostało natężenie prądu.

To ostatnie dokonywa się najlepiej przez zmierzenie różnicy napięcia e pomiędzy każdą z dwóch par biegunów na figurze 249. Wtedy bowiem otrzymujemy natężenie prądu $i = \frac{2e}{w_1}$ oraz siłę elektromotoryczną $E. M. S. = i (w + w_1)$.

Tak zwane *metody kompensacyjne* posiadają stosunkowo niewielką wartość praktyczną, bo E.M. S. baterji

mierzonej *kompensować* się tu musi przez mocniejszą E. M. S. tak, żeby sama bateria była wolna od prądu. Atoli we wszystkich bateriach E. M. S. inną jest podczas dostarczania prądu a m. zazwyczaj *mniejszą*, niżli w stanie bezprądowy.

Pytania do wykładu XXV.

1. Co rozumieć należy przez proste odgałęzienie prądu?
2. Oto jest galwanometr o oporze 2800 ω , włączony równolegle do oporu 2 ω . Natężenie prądu w galwanometrze wynosi 0,018 a. Jak wielkiem jest: 1) natężenie prądu w 2 ω , 2) całkowite natężenie prądu, 3) opór podwójnego przewodu utworzonego z galwanometru i oporu 2 ω , 4) różnica potencjału między końcami 2 ω ?
3. Masz czuły galwanometr o oporze 5600 ω i chcesz dać mu boczne zamknięcie tak aby tylko 0,0001 całkowitego prądu przechodziła przez galwanometr. a) jak wielkim powinien być opór, b) jak długim drut, jeżeli to ma być drut miedziany grubości 0,4 mm.
4. Chcemy mianować galwanometr o oporze 2200 ω , biorąc go w odgałęzienie względem oporu 0,2 ω i przesyłając przez wszystko prąd o natężeniu 0,022 a znalezionem zapomocą czułego galwanometru stycznych. Wskaż a) wielkość natężenia prądu w galwanometrze; b) współczynnik zamiany galwanometru, jeśli ów prąd dawał odchylenie 160 mm na skali odległej o 1,5 m, odczytane zapomocą zwierciadła.
5. Co rozumiesz przez galwanometr różnicowy i jak użyjesz go do porównywania oporów?
6. Jakie jest brzmienie praw Kirchhoffa?
7. Opisz i naszkicuj urządzenie, użytek i działalność mostu Wheatstone'a.
8. Jaką odmianę w moście Wheatstone'a wprowadził Kirchhoff?

9. Jak należy postępować, jeżeli chcemy mierzyć opory płynów?

10. Opisz i naszkicuj urządzenie, pozwalające oznaczać opór baterji zapomocą łączenia mostowego, a) w stanie jej nieczynnym b) w stanie czynnym.

11. Co nazywamy samoindukcją? Jak się nazywają prądy przez nią wytwarzane?

12. Co rozumiesz przez współczynnik samoindukcyi? Jakie są jego wymiary? Zapomocą jakich jednostek oznacza się go w absolutnym elektromagnetycznym układzie miar a zapomocą jakich w praktycznym?

13. Wskaż metodę oznaczania tego współczynnika samoindukcyi?

14. Jak się znajduje siła elektromotoryczna baterji dostarczającej prądu?

WYKŁAD XXVI.

Treść: Przyrządy indukcyjne. — Telefon i mikrofon. — Maszyny magneto-indukcyjne i maszyny prądu zmiennego. — Dynamomaszyny do prądu jednokierunkowego. — Indukcja jednobiegunowa (unipolarna). — Pole wirujące i prądy wielofazowe. — Transformatory. — Pytania.

Przyrządy indukcyjne. Siła elektromotoryczna, która powstaje w cewce wtórnej w chwili zamknięcia lub przerywania prądu w cewce głównej, zależy zgodnie z tem, co widzieliśmy na wykładzie XXIII, *po pierwsze, od natężenia głównego pola prądu; średnia E. M. S. (str. 101) jest wprost proporcjonalna do owego natężenia pola albo do całkowitej liczby linii sił powstających lub znikających. Po wtóre, jest ona proporcjonalna do całkowitej powierzchni zwojów w cewce wtórnej (str. 101). Potrzebie siła elektromotoryczna zależy od wzajemnego położenia obu cewek,*

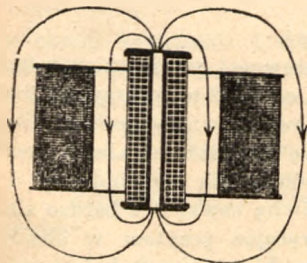


Fig. 251.

działanie bowiem wtedy jest najkorzystniejsze, gdy jak największa liczba linii sił przecina płaszczyznę zwojów cewki wtórnej raz jeden tylko, czyli zamyka się w ten sposób, iż jedna połowa danej linii siły przypada poza obrębem cewki wtórnej, jak to dzieje się z dalszemi liniami na fig. 251. Zato każda z gęstszych linii

nie wywiera żadnej indukcji, gdyż siły elektromotoryczne, wytworzone przez obie polo-

wy wzajemnie się niweczą. Wejrzenie na fig. 251 wskazuje, że gwoździ najlepszemu działaniu, zewnętrzna, wtórna cewka otaczająca główną, wewnętrzną, powinna znajdować się od niej *możliwie blisko**). Nareszcie *poczwarte średnia siła elektromotoryczna prądu indukcyjnego jest odwrotnie proporcjonalna* do czasu, w którym linie sił tworzą się lub znikają (str. 101).

Wedle tego by otrzymać w cewce wtórnej znaczne siły elektromotoryczne, należy:

1) Zaopatrzyć wewnątrz cewki głównej w jądro z miękkiego żelaza. Gdybyśmy wzięli jednolite jądro żelazne, wtedy w przewodzącej masie żelaznej powstałby prąd wzbudzony, który w chwili zamykania prądu głównego byłby mu przeciwnym, zaś podczas otwierania skierowany jednakowo (patrz wykład XIX). Tym sposobem wzbudzałby on ze swej strony w cewce wtórnej zawsze prąd przeciwny głównemu

*) W ogólności, skoro tylko chodzi o wzajemną indukcję dwóch cewek 1 i 2 (*bez jądra żelaznego*) zajmujących określone i stałe położenie względem siebie, całkowite czynne pole, podobnie jak w samoindukcyi (str. 144), można uważać jako

$$\Phi = L_{11} i_1 + L_{12} i_2,$$

gdzie indeksy oznaczają, iż w cewce 1 powinien powstać lub zniknąć prąd i_1 , a przez to w cewce 2 wytworzy się prąd indukcyjny. Wielkość L_{12} nazywa się wtedy *spółczynnikiem wzajemnej indukcyi*, który mierzy się jednostkami absolutnymi i praktycznymi podobnie jak współczynnik samoindukcyi L . Ażeby oznaczyć L_{12} łączymy główną cewkę 1 z bardzo słabą baterią (akumulatorów), wtrącając przytem w obwód klucz i miernik prądu. Końce cewki wtórnej 2, której opór w zmierzylismy, łączymy z galwanometrem balistycznym o znanym współczynniku redukcyjnym c i znanym oporze w_2 . Wtedy uważamy chwilowe wychylenie α na galwanometrze

a zatem osłabiałby siłę elektromotoryczną prądu indukcyjnego. Prądy owe, na których wpływ szkodliwy pierwszy zwracał uwagę Foucault, zwykle zowią się prądami Foucault'a. Ponieważ całkowita ilość elektryczności albo prąd całkowity zgodnie z tem co mieliśmy, zależy tylko od całkowitej liczby powstających i znikających linii sił, przeto prądy owe jedynie przeciągają czas tych zmian a więc obniżają siłę elektromotoryczną. Aby temu zapobiedz, zamiast jednolitego jądra żelaznego, które bądź co bądź okazywałoby lepsze działanie magnetyczne, używamy wiązki cienkich (grubości 1 mm) lakierowanych drutów żelaznych. Natężenie prądu w cewce głównej powinno być dość duże, by wytworzyło w żelazie możliwie wysoką indukcję magnetyczną (por. wykład XVIII.).

2. By powierzchnię zwojów w cewce wtórnej możliwie powiększyć, zaopatruje się ją w jak największą ilość drutu cienkiego, dubeltowo obwiniętego jedwabiem i dobrze polakierowanego. Z powodu bowiem wysokich różnic potencjału istnieje obawa, iż elektryczność w postaci iskry mogłaby przebić gwałtownie warstwy izolujące pomiędzy zwojami drutu (patrz cz. 3) wpierw nim przebiegnie przez zwoje pozostałe. Z tego powodu wtórne cewki w dużych przyrządach nawijane są tak, żeby nigdy części drutu o znacznych różnicach potencjału nie zbliżyły się do siebie

w chwili zamykania klucza i wtedy odczytujemy na mierniku natężenie prądu. Mamy więc dla całkowitego prądu q podawanemu str. 145) dwa równania

$$q = 2 c T / \pi \sin \frac{\alpha}{2} \quad \text{oraz} \quad q = \frac{L_{112} i}{w + w_1}.$$

Przyrównyując obie prawe części, otrzymujemy ostatecznie

$$L_{112} = 2 \frac{e}{i} (w + w_1) \frac{T}{\pi} \sin \frac{\alpha}{a}.$$

Gdy wreszcie w i i w_1 podane są w omach, otrzymujemy L_{112} w kwadransach.

za bardzo; nawija się je warstwami aż do pełnej grubości, przyczem zawsze zwoje w jednej warstwie biegną od wnętrza nazewnątrż, w każdej zaś najbliższej od zewnątrz ku wnętrzu. Pojedyncze warstwy starannie izolowane są od siebie kitem woskowym. Wtórna cewkę należy wtedy jak najstaranniej izolować od głównej. Długość drutu wtórnego w większych przyrządach dochodzi do 250 km.

3. Pomiedzy cewką główną a wtórna niepozostawiamy większej przerwy nad tę, jakiej wymaga dobra izolacya. W takim razie nasuwamy wtórna cewkę na główną tak aby ją całkowicie otaczała.

4. W celu możliwego skrócenia trwania zmian należy nietylko możliwie zredukować działania prądów Foucault'a w jądrze żelaznym ale przede wszystkim *samoindukcyę* lub ekstraprąd w cewce głównej (patrz str. 143). Nie jest to jednak możliwe w chwili zamykania prądu; ztąd *siła elektromotoryczna prądu indukcyjnego przy zamykaniu w przyrządach tego rodzaju zawsze jest stosunkowo niewielka*. Należy mniemać, iż przy otwieraniu prądy te w ogólności mogłyby nie występować, bo wtedy cewka główna nie jest zamknięta; tymczasem naprawdę prądy te przeskakują skutkiem swojej wysokiej siły elektromotorycznej przez miejsce przerwane w postaci świetnej iskry i z tego powodu zjawiają się również w chwili przerywania prądu głównego. Atoli można je uczynić nieszkodliwemi, łącząc końce g'łówniej spiralnej z dwiema zbrojami *kondensatora* *dużej pojemności* (patrz cz. III). Ten ostatni składa się z dwóch powierzchni staniolowych, przedzielonych cienką warstwą przejściową z dobrego papieru, nasyczonego parafiną (patrz fig. 34 cz. I); w większych przyrządach powierzchnia każdej warstwy staniolu zajmuje kilka metrów kwadratowych. Kondensator ten (zastosowany poraz pierwszy do celu powyższego przez Fizeau) ma taki skutek, iż *szybko wбира* elektryczność (+) i (—) wprawianą w ruch przez ekstraprąd w chwili otwierania, co jeszcze lepiej uwydatnione będzie w części trzeciej niniejszego dzieła.

Podług tych zasad zbudowany został *induktor do iskiek Rühmkorffa*, schematycznie wyobrażony na fig. 252. J przedsta-

n, przerywa prąd główny w c i t. d. czyli urządzenie działa zupełnie tak samo jak odpowiednie w dzwonku elektrycznym, przedstawionym na fig. 158 i opisanym na str. 264 t. I dzieła tego.

Do większych przyrządów stosują inne przerywacze podobnie działające, w których przez działanie elektromagnesu wychodzi drut z rtęci, są to t. zw. *przerywacze rtęciowe*.

W przyrządach, które mają dawać prądy zmienne do mostu Wheatstone'a, w celu mierzenia oporu płynów (str. 142), przerywanie i zamykanie prądu głównego skutecznie odbywa się zapomocą *żelaznych widełek stroikowych* (Stimmgabelunterbrecher), które drgają pod magnesującym wpływem jednego końca wiązki drutów żelaznych w cewce wtórnej, na podobieństwo tego co się dzieje z kotwicą dzwonka elektrycznego.

Podobną czynność pełnią *transformatory* służące do przemiany *prądów zmiennych o wysokim napięciu* (do 10000 v) i niewielkim natężeniu (10—20 a) w prądy *o niskim napięciu* (100 v lub mniej) i wielkim natężeniu, używane do celów oświetlania elektrycznego. Dlatego cewka główna składa się tutaj odwrotnie z wielu zwojów drutu cienkiego, wtórna zaś z niewielu zwojów drutu grubego.

Telefon i mikrofon. Pierwotny telefon Bella wyrysowany schematycznie na fig. 253 składa się ze sztaby magnesowej M, w jednym końcu której wśrubowana jest sztabka żelazna a na nią nasunięta mała cewka R z kości słoniowej, której liczne zwoje składają się z bardzo cienkiego, izolowanego drutu miedzianego. Nad sztabką tą w niewielkiej odległości mieści się w drewnianej oprawie krążek ee z cienkiej blachy białej, którego część górna zwrócona jest do drewnianego lejka akustycznego T. Pod wpływem drgań akustycznych krążek ten ee poczyną drgać i przez to naprzemian zbliża się, to znowu oddala od końca sztabki żelaznej. Lecz ponieważ w położeniu bliższem więcej linii sił przechodzi w krążek niż w dalszem, tedy podczas drgań zmienia się liczba linii sił przechodzących przez wnętrze R i w zwojach

powstają prądy indukcyjne. Gdy te ostatnie przechodzą od przyrządu 1 do cewki podobnego przyrządu 2, wówczas naprzemian wzmacniają i osłabiają, stosownie do kierunku, magnetyzm w sztabce żelaznej 2 i przez to wprowadzają krą-

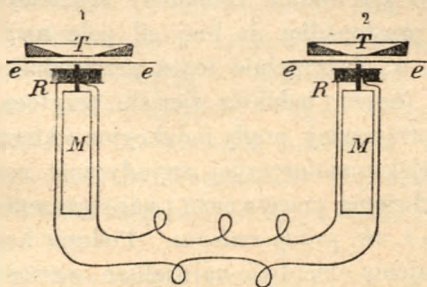


Fig. 253 Telefon Bell'a.

żek ee w przyrządzie 2 w odpowiednie drgania, które udzielają się powietrzu a tem samem uchu osoby stojącej w pobliżu aparatu 2.

Ażeby w razie większych odległości rozporządzać silniejszymi prądami indukcyjnymi, mówi się dzisiaj już nie do *telefonu* w aparacie 1 na figurze, lecz do zastępującego go przyrządu zwanego *mikrofonem*. Ten ostatni zasadza się na tem, iż opór w miejscu zetknięcia dwóch słabo do siebie przyciśniętych *kawałków węgla* przy wzrastaniu ciśnienia słabnie a przy zmniejszaniu ciśnienia rośnie. Taki spadek lub wzrost ciśnienia wytwarza się przez drgania błony, połączonej z jednym z tych węgielków. Teraz prowadzimy prąd baterji przez oba węgielki i przez cewkę główną małego przyrządu indukcyjnego, z którego wtórną cewką połączony jest telefon 2. Waha-
nia prądu, wywołane przez drgania dźwięku, wtedy również wytwarzają prądy indukcyjne, które działają zupełnie tak samo na telefon 2, jak wyżej wywołane przez telefon 1. Obecnie w ten sposób mowa daje się przesyłać zapomocą telefonu o set-

ki (a nawet tysiące. Uw. tł.) kilometrów tak, że telefon dzisiaj pod względem sprawności zrównał się już prawie ze starszym od siebie telegrafem.

Maszyny magnetoindukcyjne i maszyny o prądzie zmiennym. Jeżeli przewodnik zamknięty będziemy kręcili naokoło osi prostopadłej do linii sił pola magnetycznego i położonej w płaszczyźnie tegoż przewodnika, ze stałą prędkością (naprz. induktor ziemski przytoczony na str. 103), tedy otrzymamy prądy indukcyjne o kierunku zmiennym i sile elektromotorycznej peryodycznie wahającej się pomiędzy dwiema przeciwnymi i największymi wartościami; to będą t. zw. *prądy zmienne*. Podczas każdego obrotu otrzymujemy obie dwie największe wartości E. M. S. w chwilach następujących po sobie co pół obrotu, a w środku pomiędzy nimi siła elektromotoryczna dwa razy przybiera wartość 0.

Skoro pole wytworzone jest przez magnesy stalowe albo elektromagnesy a w nim obraca się poruszane przez siły zewnętrzne jądro żelazne obwinięte drutem, t. zw. *zbroja*, urządzenie tego rodzaju nazywa się *maszyną magnetoindukcyjną*. Gdy chcemy, lub gdy tego wymaga zastosowanie prądów, możemy zapomocą współpracującego się komutatora działającego automatycznie, przemieniać prądy zmienne w prądy o jednym kierunku. W rzeczywistości jednak unika się tu komutatora i prądy zmienne stosujemy jako takie do oświetlania elektrycznego i przesyłania siły; tego rodzaju maszyna nosi miano *maszyny prądu zmiennego*. Zwykle w ten sposób wytwarzane są prądy o bardzo wysokiem napięciu i niewielkiem natężeniu prądu w tym celu, by zapomocą cienkich drutów przewodzić je na znaczne

odległości (patrz str. 120) bez znacznych strat napięcia. Ponieważ skutek przesyłany mierzy się liczbą volt-amperów, przeto, rzecz prosta, teoretycznie zapomocą 10,000 voltów i 10 amperów można wykonać to samo co zapomocą 100 voltów i 1000 amperów; albo do przewożenia prądu 1000 amperów należałoby użyć tak grubych przewodników miedzianych, iż przewożenie na dalsze odległości nie byłoby możliwe. Prądy zmienne o wysokiem napięciu i niewielkiem natężeniu zmieniaemy następnie zapomocą transformatorów w prądy o niskiem napięciu i znacznem natężeniu, nadające się do użytku bezpośredniego.

Z maszyn tego rodzaju zatrzymamy się tutaj na urządzeniu maszyny do prądu zmiennego Siemens'a i Halskego (patrz na załączoną fig. 254). Naprawo znajduje się niewielka maszyna o prądzie jednokierunkowym (patrz o tem dalej) która zaopatruje elektromagnesy CN, CS maszyny II o prądzie zmiennym w prąd, doprowadzany do niej zapomocą drutów a, b. Jądra elektromagnesów składają się z miękkich sztab żelaznych, wśrubowanych w części obrączkowe szkieletu z lanego żelaza. Urządzone są w taki sposób, iż zarówno każde dwie przeciwległe jak dwie sąsiednie posiadają przeciwną biegunowość. Skutkiem tego wszystkie linie sił przechodzą pomiędzy dwoma biegunami przez środki cew zbroi D, gdy ostatnie znajdują się wprost dwóch biegunów; w położeniu środkowem żadne linie nie przechodzą, pomiędzy dwoma następnemi jądrami magnesu znowu wszystkie przechodzą, lecz odwrotnie do pierwszych.

A zatem podczas obrotu zbroi otrzymujemy prądy zmienne. Cewki tak są ze sobą złączone, że siły elektromotoryczne we wszystkich cewkach sumują się. Końce ich wychodzą do dwóch ślizgających się pierścieni, umieszczonych

zosobna na osi, z których prądy za pośrednictwem sprężyn ślizgających się dostają się do przewodu zewnętrznego.

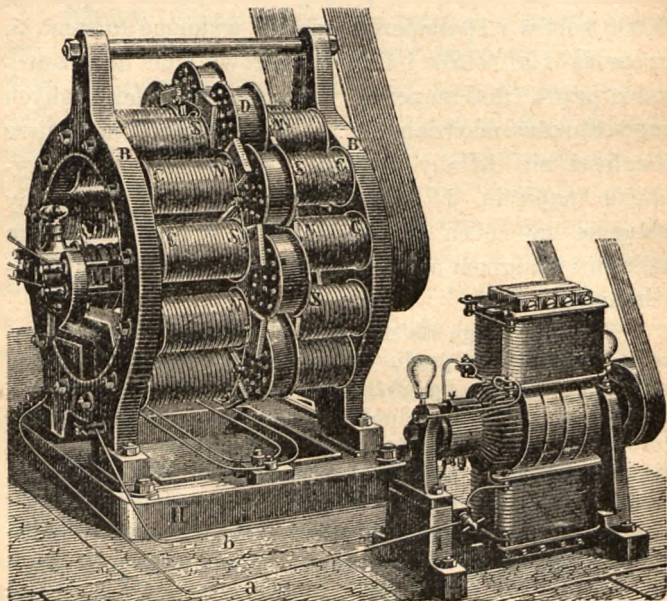


Fig. 254.

Dynamomaszyny do prądu jednokierunkowego (stałego).
W r. 1866 Werner Siemens wpadł na myśl, ażeby magnesy stalowe, wyłącznie dotąd używane do maszyn magnetoindukcyjnych, były zastąpione przez *elektromagnesy*, przez zwoje których on przesyłał prąd w nich samych wzbudzony i zapomocą komutatora zwrócony w jednym kierunku. Z początku magnetyzm pozostający w żelazie wystarcza

do wzbudzenia słabych prądów; gdy zaś te ostatnie przebiegają naokoło elektromagnesu, wzmacniają go, co znowu wpływa na wzmocnienie prądów indukcyjnych i t. d., aż wreszcie z maszyny otrzymać można potężny prąd. Siemens nadał temu pomysłowi nazwę „zasady dynamoelektrycznej” dając przez to do zrozumienia, że owe prądy elektryczne istnienie swoje zawdzięczają wyłącznie pracy mechanicznej do nich zastosowanej.

Istotną i poważną przeszkodę do stosowania tego rodzaju maszyn stanowił w swoim czasie komutator, który szybko się niszczył pod wpływem zjawiających się podczas każdej przemiany potężnych iskier. Kiedy jednak Gramm r. 1871 a v. Hefner-Alteneck r. 1872 zastosowali zasadę dynamoelektryczną do budowy zbroi, które uczyły zbytecznym właściwy „zwrotnik prądu” czyli *komutator* i pozwoliły go zastąpić przez „zbieracz prądu” czyli „*kolektor*”, dopiero wtedy otrzymywanie maszyn do prądów mocnych oraz stosowanie ich do oświetlania elektrycznego stało się możliwem. Maszyny te nazwane zostały *dynamoelektrycznymi* lub *dynamomaszynami* albo po prostu *dynamo*.

Pierwszą z tych form zbroi jest pierścień *Gramme’a* (albo *Pacinotti’ego* od pierwszego wynalazcy Pacinotti r. 1860). Ażeby wyjaśnić przedewszystkiem zasadę tej zbroi, wyobraźmy sobie dwie półokrągłe sztaby magnesowe przyłożone do siebie jak na fig. 255. Teraz przesuniemy jeden zwój drutu od środka 1 jednego magnesu przez podwójny biegun $Pn\ n'$ do środka 2 drugiego magnesu (a więc w kierunku załączonej strzały). W takim razie według znanych praw indukcji str. 326 t. I i 99 t. t.)



Fig. 255.

otrzymujemy w pierścieniu tym prąd indukcyjny w kierunku oznaczonym przez strzałkę, którego siła elektromotoryczna w 1 równa się zero, rośnie potem aż do pewnego maximum w nn' i znowu w 2 spada aż do wartości zera. Skoro teraz przesuniemy pierścień od 2 przez ss' , z powrotem do 1, otrzymamy prąd, który w pierścieniu płynie w kierunku przeciwnym do pierwszego.

Następne figury 256 i 257 schematycznie wystawiają dynamomaszynę Gramme'a opartą na powyższej zasadzie.

Pierwsza figura przedstawia urządzenie jej a zwłaszcza sposób łączenia pojedynczych części przewodzących, podczas gdy fig. 257 — daje obraz przebiegu linii sił. Zbroja w tej maszynie składa się z pierścienia miękkiego żelaznego, który w celu uniknięcia prądów Foucault'a, powinien być podzielony w jednym lub dwu kierunkach poprzecznie do linii sił to jest

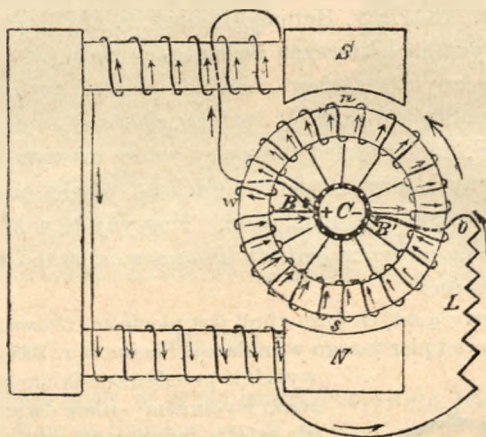


Fig. 256. Dynamomaszyna Gramme'a.

już składamy go ze znacznej liczby cienkich krążków żelaznych równoległych do płaszczyzny rysunku i odosobnionych od siebie cienkimi warstwami papieru, już to nawijamy cały pierścień z cienkiego drutu żelaznego lakierowanego. Pierścień obwi-

nięty jest jedną lub więcej warstwami izolowanego drutu miedzianego, które składają się z pojedynczych oddziałów, szczelnie do siebie przylegających, a których liczba w większych maszynach dochodzi do 60 i więcej. Z miejsca złączenia każdego dwóch

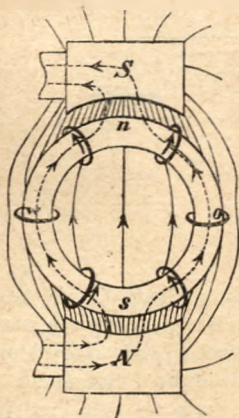


Fig. 257. Przebieg linii sił w pierścieniu Gramme'a.

oddziałów prowadzi drut do jednej blaszki miedzianej, których ma być tyleż właśnie, ile jest oddziałów drutu. Te blaszki miedziane izolowane starannie od siebie i od żelaznej osi maszyny, tworzą razem jeden walec zwany *kolektorem* (patrz fig. 156), po którym ślizgają się dwie *szczotki* zrobione z drutów miedzianych lub cienkich blach miedzianych B i B' naciskane przez sprężyny. Pierścień spoczywa w sposób widoczny z fig. 256 pomiędzy stosownie wykręconymi nasadami biegunów N i S elektromagnesu. Gdy więc pierścień obraca się w kierunku wielkiej strzały, wtedy bieguny n i s wzbudzone w pierścieniu żelaznym pomimo

owego obrotu zachowują swoje położenie, tak jakby każda pojedyncza warstwa zwoju (patrz. na fig. 255) przesuwiała się od o przez n do w i ztąd znowu przez s do o. Tak wzbudzone prądy, których kierunek łatwo daje się określić z fig. 257 podług pravidła danego na str. 97, sumują się w każdej połowie onw i wso, na które się pierścień rozpada podczas obrotu. Ponieważ prądy te w obu połowach biegną od punktu o do w, pierścień pozostałby bez prądu, zupełnie tak samo jak dwa ogniwa, których bieguny + i — zostałyby połączone ze sobą tak jak na fig. 258, gdyby części kolektora skomunikowane z w i o zarazem nie łączyły się ze sobą zapomocą szczotek B i B'. Obie połowy pierścienia względem zewnętrznego obwodu prądu

sprężone są ze sobą równolegle tak jak dwa ogniwa na powyższej figurze. Prąd przebiega tedy od szczotki B naokoło po zwojach elektromagnesu, potem idzie przez obwód zewnętrzny do szczotki B', zkład *równolegle* przez obie połowy zwojów onw i osw zupełnie jak w dwóch ogniwach na fig. 258.

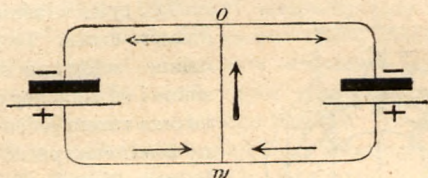


Fig. 258.

Ponieważ skutkiem obrotu zbroi nic się tu nie zmienia, a tylko na miejsce poprzednich wciąż przybywają następne zwoje drutu i części kolektora, przeto prąd, który bierzemy ze szczotek B i B', jest jednego kierunku i natężenia, jeżeli pominiemy drobne wahania, które stają się tym mniejszemi, im więcej oddziałów zawiera nawinięcie pierścienia i odpowiednio kolektor.

E. M. S. całkowitego prądu według str. 101, dla *jednego* zwoju w ciągu każdego ćwierć obrotu, równa się maksymalnej ilości linii sił przebiegających przez jego płaszczyznę (w położeniach o i w); nazwijmy ją z, wtedy dla *jednego* obrotu i *jednego* zwoju siła elektromotoryczna całkowitego prądu

$$= 4z$$

Jeżeli czas *jednego* obrotu wynosi t sekund, wówczas średnia E. M. S. wzbudzona w ciągu sekundy w *jednym* zwoju wynosi

$$e = \frac{4z}{t} \text{ cm}^{3/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-2}.$$

Zwyczajnie ilość obrotów p podawana bywa na minutę.

Wtenczas $t = \frac{60}{p}$; a zatem

$$e = \frac{4 p z}{60} \text{ cm}^{3/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-2}.$$

Gdy jedna część składa się nie z *jednego* zwoju, lecz z n zwojów, wtedy zamiast z należy wziąć nz; a jeżeli nie mamy *jednej* takiej części, lecz w każdej połowie pierścienia N, w takim razie siły elektromotoryczne sumują się w każdej chwili i tworzą *siłę elektromotoryczną maszyny*:

$$E = Ne = \frac{4 p N n z}{60} \text{ cm}^{3/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-2} = \frac{4 p N n z}{60} \cdot 10^{-8} \text{ voltów};$$

siła bowiem elektromotoryczna maszyny równa się E. M. S *jednej połowy pierścienia*, ponieważ te ostatnie połączone są równolegle.

Przykład: Pierścień w przykładzie na str. 319 t. I obwinięto 20 oddziałami drutu, z których każdy zawiera 10 zwojów. Jaką wtedy E. M. S. wyda cała dynamomaszyna przy 3000 obrotach na m?

Jest-to

$$E = \frac{4 \cdot 3000 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 128000}{60} \cdot 10^{-8} = 25,6 \text{ v.}$$

Gdy w_s przedstawia opór zwojów w ramionach magnesu, w_a — opór zbroi (czyli opór w obu połowach zbroi połączonych równolegle) i w — opór przewodu zewnętrznego, tedy według prawa Ohma natężenie prądu jest

$$i = \frac{e}{w_a + w_s + w}.$$

Maszynę tak połączoną zowiemy *szeregową* albo *seryjną* (od series-szereg). Można też ramiona magnesu łączyć ze sobą *w odgałęzieniu* do przewodu zewnętrznego, co daje nam t. zw. *maszynę w odgałęzieniu* albo *maszynę szentową*.

Nareszcie można ramiona magnesu obwijać podwójnie, przytem jedne zwoje tworzą z obwodem zewnętrznym jeden

szereg, drugie idą równolegle do niego — są to maszyny o połączeniu zmieszanem albo *sprężone* (compound).

W induktorze Hefner-Altenecka zwoje nawijają się na walcu z miękkiego żelaza według metody wskazanej na fig. 259 dla *jednego* zwoju. Linie sił pola przecinają walec żelazny w sposób załączony; wobec tego podczas obrotu walca naokoło jego osi w zwoju powstają prądy indukcyjne. Aby w żelazie nie powstawały prądy Foucault'a, składa się ono z cienkich blaszek okrągłych, w celu izolowania przełożo-

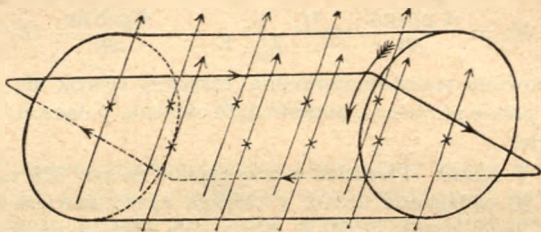


Fig. 259.

nych bardzo cienkimi krążkami papierowymi, a wszystko razem osadzone jest na jednym wale. Zamiast pojedynczego zwoju i tutaj nawija się na walec jak największą liczbę pojedynczych grup zwojów tworzących jednolitą całość; w nader pomysłowy sposób udało się v. Hefner-Alteneck'owi połączyć z kolektorem miejsca złączeń grup pojedynczych tak, że wszystek drut w każdym położeniu walca rozpada się na dwa działy, z których prądy indukcyjne wybiegają równocześnie do tych części kolektora, po których ślizgają się szczotki i od nich wracają zupełnie jak w zbroi pierścieniowej; nie byłoby więc i tutaj prądu, gdyby szczotki nie były ze sobą połączone przewodnikiem.

Nie będziemy się dłużej zastanawiać nad tym zawiłym i bez ruchomych modeli, mało zrozumiałym wiązaniem. Zbroja ta nosi miano *zbroi bębnowej* albo *induktora bębnowego*.

Indukcja jednobiegunowa. Skoro w jednym z przyrządów rotacyjnych wystawionych na fig. 160 i 161 baterję zastąpimy przez czuły galwanometr i ręcznie wywołamy te ruchy, które wytwarzał prąd, w takim razie otrzymamy prądy indukcyjne, których kierunek możemy z łatwością określić uprzednio albo podług prawa Lenz'a na str. 341 t. I albo zapomocą naszego prawidła prawej ręki str. 97. Przebieg ten nazywamy również „*indukcją jednobiegunową*”.

Prądy wytworzone przy indukcji jednobiegunowej podczas jednostajnego obracania posiadają niezmienną E. M. S. i natężenie, a zatem doskonale nadają się do zastosowań praktycznych. Tymczasem *wszystkie* usiłowania ażeby zbudować maszyny dogodne, oparte na *indukcji jednobiegunowej*, rozbiły się dotąd o ten wzgląd, iż łączenie ze sobą szeregowo pewnej liczby przewodników o nieznaczącej E. M. S. w celu spotęgowania jej jest rzeczą w ogóle nader trudną i konstrukcyjnie zawilą.

Pole magnetyczne wirujące i prądy wielofazowe*) Wiemy (str. 33 t. I), że *polem magnetycznym* nazywa się całkowita przestrzeń naokoło magnesu, przez którą działa jego magnetyzm. Pole to może *obracać się, wirować* przy zastosowaniu pewnych środków mechanicznych, naprz. jeżeli zmusimy podkowę magnesową NS do obracania się naokoło osi XY, jak na figurze 260.

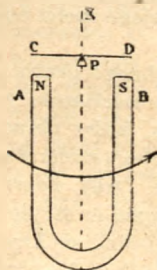


Fig. 260.

Chcąc rozważyć własności pola wirującego, przypomnijmy sobie słynne doświadczenie Arago (1824).

*) Od tłumacza. Źródła: P. Janet „Premiers principes d'électricité industrielle” Paryż 1893; J. Vallentin „Lehrbuch der Elektrizität u Magnetismus,” Stuttgart 1897; Silvanus P. Thompson „Die Dynamoelektrischen Maschinen” Halla 1894.

Nad krążkiem miedzianym EF mieści się igła magnesowa AB, obracająca się swobodnie na ostrzu O. Pomiedzy igłą a krążkiem znajduje się tektura CD, chroniąca igłę od ruchów powietrza. Zapomocą koła zębatego i korby wprawiamy krążek w szybki ruch; widzimy, że igła zaczyna się obracać jak-

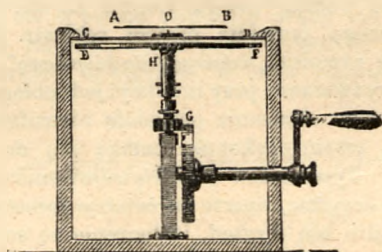


Fig. 261.

by pociągnięta ruchem krążka. W ten sposób działa wszelka masa metalowa, pociągając w kierunku swojego ruchu magnes położony w sąsiedztwie.

Łatwo przewidzieć, na mocy powszechnego prawa przyrody zwanego *zasadą równego działania i przeciwdziałania*, że doświadczenie to jest odwracalne t. j. magnes, który obraca się, będzie dążył do przyciągania w kierunku swojego ruchu wszelką masę metalową położoną w jego sąsiedztwie. Gdy naprz. nad podkową magnesową (fig. 260) osadzimy poziomo na czopie P ruchomy krążek miedziany CD, tedy krążek będzie się kręcił za ruchem magnesu, przytem szybkość jego będzie wciąż wzrastała i skoro tarcie będzie znikome, osiągnie szybkości magnesu. Dochodzimy więc do prawa ogólnego: *Jeżeli w polu magnetycznym wirującym umieścimy jakąkolwiek masę metalową, tedy obracać się ona będzie w tym samym czasie i z tą samą prędkością co pole* (jeśli ruch jego nie napotka żadnego oporu).

W doświadczeniu powyższym tkwi już zasadnicza myśl, że pole wirujące może być zużytkowane do obracania masy metalowej nie będącej z nim w żadnej styczności faktycznej, jedynie na zasadzie indukcji magnetycznej. Praktyczne jednak

rozwiązanie tego zadania dało się osiągnąć dopiero po wynalezieniu t. zw. *prądów wielofazowych*.

Według określenia prądu zmiennego danego na str. 156, możemy go sobie wystawić graficznie w postaci linii falistej, sinusoidalnej, wyrażającej okresy albo zmiany prądu, wywołane przez ciągle zmiany siły elektromotorycznej przy każdym obrocie zbroi w maszynie prądu zmiennego. Rzędne oznaczają tu wartości natężeń, odcięte czasu, w jakim następują. Dwa ra-

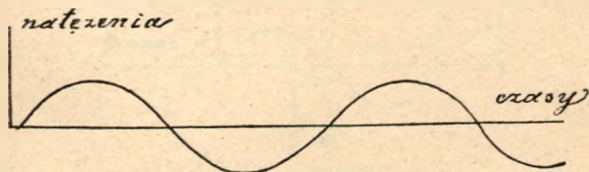


Fig. 262.

zy w ciągu obrotu siła elektromotoryczna otrzymuje wartości równe a co do znaku przeciwne, dwa razy pomiędzy nimi przebywa znaczenie 0. Prąd zmienny tego rodzaju możnaby nazywać *jednofazowym*.

Wyobraźmy sobie teraz dwa takie prądy zmienne należące do dwóch różnych obwodów, zupełnie podobne t. j. mające ten sam okres, to samo natężenie etc. lecz różniące się jedynie tem, że gdy pierwszy przebywa swój punkt największy, drugi dopiero zero. Powiadamy, że prądy te różnią się co do fazy, czyli faza przesunięta jest w nich o $\frac{1}{4}$ okresu (zmiany), lub pierwszy opóźnia się względem drugiego o $\frac{1}{4}$ okresu: Atoli ilość okresów na sekundę, czyli t. zw. *częstość prądu*, jest w obu razach jednakowa. Coś podobnego możemy zauważyć w wahaniach dwu wahadeł jednakowej długości: wyprowadźmy je z położenia równowagi, następnie puśćmy wpierw jedno, a potem drugie, w chwili gdy pierwsze przechodzi przez położenie pionowe. Powiadamy, że oba wahadła różnią się co do fazy czyli przesunięte są względem siebie o $\frac{1}{4}$ okresu, że drugie opóźnia się względem pierwszego o ćwierć okresu.

Podobnież możemy sobie wystawić prądy zmienne (albo wahadła) różniące się o $\frac{1}{3}$ okresu i t. d.

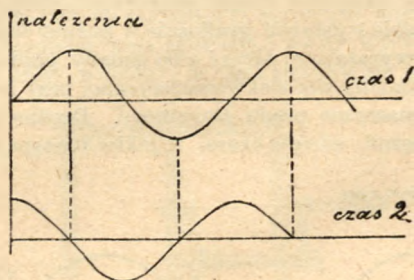


Fig. 263.

Weźmy teraz cztery cewki A, B, C, D zaopatrzone w miękkie rdzenie żelazne i zwrócone prostopadłe do siebie; nawinię-

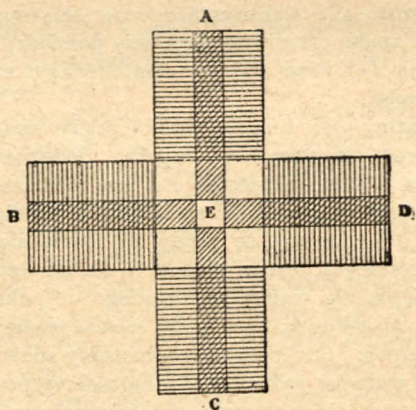


Fig. 264.

cie ich jest tego rodzaju, iż bieguny przeciwległe zarazem są odmiennymi; słowem, te cztery cewki w przestrzeni tworzą dwa

pola prostokątne. Jeżeli teraz przez cewki A i B prześlemy jeden prąd zmienny a przez B i D inny różniący się od tamtego o $\frac{1}{4}$ okresu, to w E powstanie pole magnetyczne wirujące. Praktycznie dałoby się to uskutecznić naprz. w sposób następujący.

Bierześmy gwoli uproszczenia dwie tylko cewki pod kątem prostym A i B; pierwsza obwinięta jest grubym i krótkim drutem MN o małej liczbie zwojów, przez który przesyłamy jeden prąd zmienny, oraz długim i cienkim PQ o znacznej liczbie zwo-

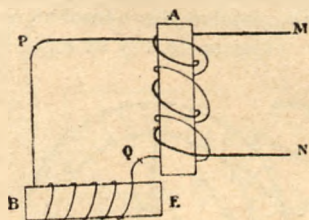


Fig. 265.

jów. Ten ostatni łączy się z drutem tej samej długości i grubości, nawiniętym na cewkę B. Pod wpływem prądu zmiennego w MN budzi się w obwodzie PQ prąd indukcyjny, zmienny, ale różniący się co do fazy, który w dalszym ciągu biegnie przez cewkę B. Wynikają ztąd w E dwa pola magnetyczne prostokątne, różniące się co do fazy i, w razie odpowiednich warunków, o $\frac{1}{4}$ okresu: w rezultacie powstaje pole wirujące, w którym szybko się kręcą nie tylko igły magnesowe, ale krążki, małe cylindry miedziane i żelazne, osadzone swobodnie na czo-pach. Doświadczenie to zasadnicze zawdzięczamy uczonemu włoskiemu Gallileo Ferraris (1888) z Turynu. Jednakże myśl zastosowania dwu prądów różniących się o ćwierć okresu, do otrzymania pola wirującego powziął już Marcel Deprez r. 1887.

Rozważmy trzy pola magnetyczne tworzące między sobą kąty równe, przesunięte względem siebie o $\frac{1}{3}$ okresu: wypa-da ztąd również pole wirujące. Praktycznie osiągnąć się to da-

je zapomocą trzech cewek ustawionych w trójkąt równoboczny, przez które przesyłamy trzy prądy zmienne różniące się o $\frac{1}{3}$ okresu; wtedy w środku trójkąta utworzy się pole wirujące. Prądy takie nazywamy *trójfazowymi* albo o *trzech fazach*.

Najprostszym generatorem prądów trójfazowych może być zwykła maszyna Gramme'a (str. 160). Wiadomo, iż zbroję tej maszyny przebiegają prądy o zmiennej sile elektromotorycznej; pozostaje więc tylko w trzech miejscach pierścienia równo odległych A, B, C (fig. 266) zebrać prąd zapomocą drutów Aa, Bb, Cc do trzech obręczy metalowych odosobnionych, osadzonych na wale, po których ślizgają się trzy szczotki, zbierające prądy

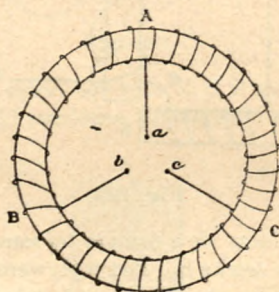


Fig. 266.

trójfazowe i połączone z trzema przewodnikami linii elektrycznej.

Naodwrot pierścień Gramme'a z wielką łatwością może służyć do odbierania prądu trójfazowego i wtedy maszyna Gramme'a staje się elektromotorem. Nastąpi to wówczas, jeżeli punkty a, b, c, połączone zostaną z trzema przewodnikami prądów trójfazowych; wtedy wewnątrz pierścienia wytworzy się pole wirujące.

Jeżeli (fig. 267) obwiniemy pierścień Gramme'a trzema cewkami, z których jedna od drugiej odległa jest o 120° , a wewnątrz pierścienia obracać się będzie potężny magnes, to w każ-

dej z 3 cewek powstaną siły elektromotoryczne, przesunięte względem siebie o 120° .

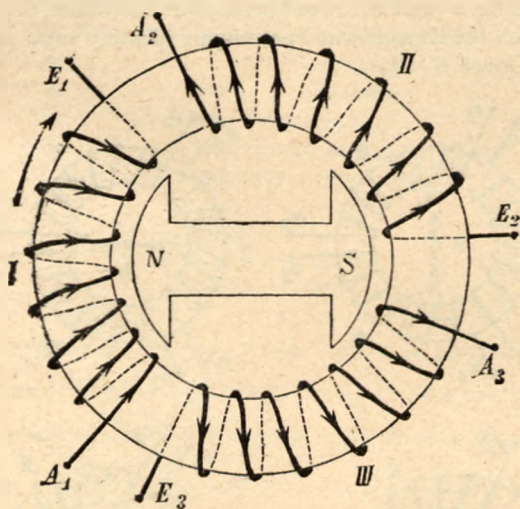


Fig. 267.

Lewa strona następnej fig. 268 przedstawia diagram wektorowy trzech sił elektromotorycznych, prawa strona odpowiednie linie sinusoidalne prądu trójfazowego.

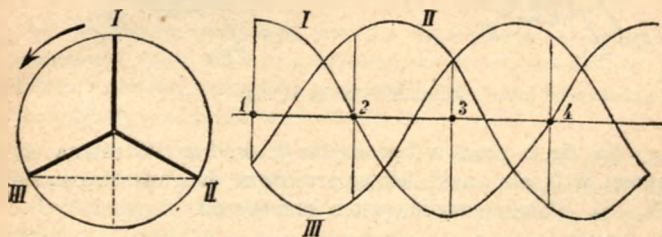


Fig. 268.

Jeżeli teraz połączymy wolne końce $A_1, E_1, A_2, E_2, A_3, E_3$, (fig. 267) z końcami tak samo nawiniętego pierścienia Gramme'a

fig. 269 (a, b, c, d), we wnętrzu jego powstanie pole wirujące, którego cztery położenia zostały przedstawione na tych figurach. Na fig. a prąd w cewce I przebywa maximum, prądy zaś w cewkach II i III są równe i przeciwne; bieguny tutaj powstają w punktach N_1 i S_1 .

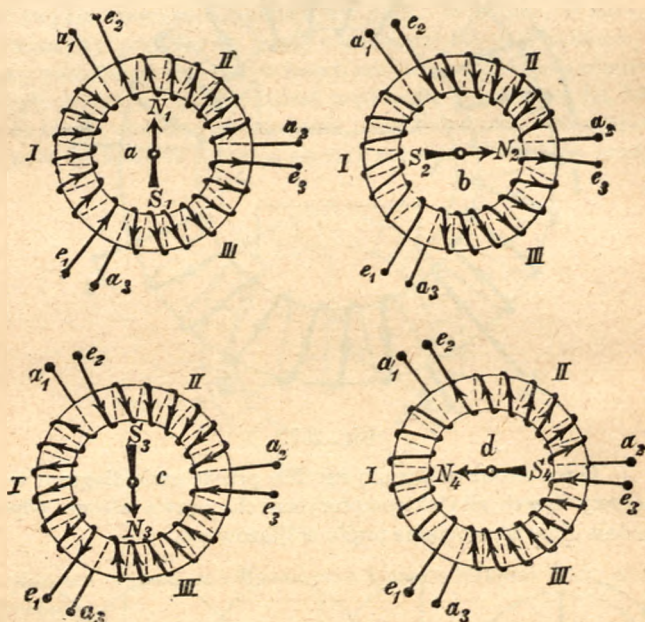


Fig. 269 (a, b, c, d).

Na fig. b prąd w I przebywa 0, prąd w III równa się prądowi w II, ale znaki ich są przeciwne, bieguny tworzą się w N_2 i S_2 . Dalej rzeczy idą w ten sam sposób.

Atoli ten rodzaj prądu trójfazowego wymaga aż sześciu przewodników i nigdyby nie wszedł w użycie, gdyby liczba ta nie dała się zmniejszyć. Redukcyja w rzeczy samej daje się prze-

przewodzić na mocy szczególnej własności prądu trójfazowego, iż w każdej chwili suma wartości trzech faz równa się zeru.

Gdy bowiem w danej chwili

i_1 jest wartością prądu w pierwszej fazie

i_2 „ „ „ „ drugiej „

i_3 „ „ „ „ trzeciej „

J_0 „ największą wartością fazy

α „ kątem, jaki tworzy promień wodzący pierwszej fazy z osią X-ów,

wówczas

$$i_1 = J_0 \sin \alpha$$

$$i_2 = J_0 (\sin \alpha + 120^\circ)$$

$$i_3 = J_0 (\sin \alpha + 240^\circ).$$

A ponieważ

$$\sin (\alpha + 120^\circ) = \sin (90^\circ + \alpha + 30^\circ) = \cos (\alpha + 30^\circ) =$$

$$= \cos \alpha \cos 30^\circ - \sin \alpha \sin 30^\circ = \frac{1}{2} \sqrt{3} \cos \alpha - \frac{1}{2} \sin \alpha$$

$$\sin (\alpha + 240^\circ) = \sin (180^\circ + \alpha + 60^\circ) = - \sin (\alpha + 60^\circ) =$$

$$= - \sin \alpha \cos 60^\circ - \cos \alpha \sin 60^\circ = - \frac{1}{2} \sin \alpha - \frac{1}{2} \sqrt{3} \cos \alpha$$

przeto

$$i_1 + i_2 + i_3 = J_0 \left(\sin \alpha + \frac{1}{2} \sqrt{3} \cos \alpha - \frac{1}{2} \sin \alpha \right.$$

$$\left. - \frac{1}{2} \sin \alpha - \frac{1}{2} \sqrt{3} \cos \alpha \right) = 0$$

Własność powyższa pozwala wprowadzić w maszynie i motorach tego rodzaju połączenia, które *trzy przewodniki powtórne* czynią zbytecznymi; a zatem całkowita linia sprowadza się tu do liczby trzech przewodników.

Nie możemy dłużej zatrzymywać się nad tym przedmiotem, powiemy tylko, iż prądy trójfazowe, resp. wielofazowe oraz dynamomaszyny tego systemu przydatne są zarówno do oświetlenia jak przesyłania siły i poruszania motorów; w ogólności, od systemu tego, aczkolwiek wynalezione niedawno, wiele spodziewać się możemy.

Transformatory. (*Od t.*) Gdy chcemy przesyłać siłę na drodze elektrycznej, musimy używać prądów o wysokim napięciu i niewielkim natężeniu. W razie prądu jednokierunkowego napięcia nie mogą przekraczać 600 v zarówno z powodu trudności napotykaných wtedy w kolektorze i szczotkach maszyny jak działań elektrolitycznych, niszczących materyał izolacyjny. Względ ostatni prawie nie ma znaczenia w razie prądu zmiennego. Otóż w tych razach, gdy napięcie sieci lub dynamomaszyny jest do bezpośredniego użytku zawysokie, doprowadzamy je do pożądanego niskiego napięcia zapomocą t. zw. *transformatorów*. Inicyatorami przyrządów tych byli pp. Gaulard i Gibbs. (1883 r.).

Transformatory o rdzeniu. Transformatory fig. 270 składają się z rdzenia lub pierścienia miękiego żelaznego, na który nawinięte są dwa druty, *główny* ab z grubego drutu i *wtórny* AB z cienkiego drutu, w ten sposób, iż prąd przebiega przez wszystkie zwoje w jednym i tym samym kierunku. Żelazo jest nieprzerwane w kierunku linii sił, natomiast dzieli się w kierunku do nich prostopadłym; w ten sposób magnesowanie żelaza odbywa się w kierunku podłużnym. Zwoje główne leżą albo wprost na powierzchni rdzenia żelaznego warstwami oddzielnymi albo tworzą oddzielne na nim cewki. Części rdzenia żelaznego konieczne muszą być izolowane.

Jeżeli przez główne nawinięcie złożone z grubego drutu prześlemy prąd o niskim potencyale i znacznym natężeniu, to we wtórnym nawinięciu wytworzą się prądy o własnościach przeciwnych. Jeżeli nazwiemy różnicę potencyału w nawinięciu głównym i wtórnym odpowiednio E_1 , E_2 , zaś natężenia prądu w tych nawinięciach J_1 , J_2 i przypuścimy, że zachodzi tu całkowita przemiana energii elektrycznej, wówczas

$$E_1 J_1 = E_2 J_2$$

albo

$$E_1 : E_2 = J_2 : J_1$$

Stosunek ten nazywa się *spółczynnikiem transformacyi* i daje się dobrze określić, jeżeli znana jest liczba zwojów w obu cewkach. W dobrych transformatorach strata energii elek-

trycznej wynosi ledwie 5⁰/₀; tak korzystny stosunek przeważnie pochodzi ztąd, iż wszystkie linie sił pozostają w zamkniętym obwodzie żelaza.

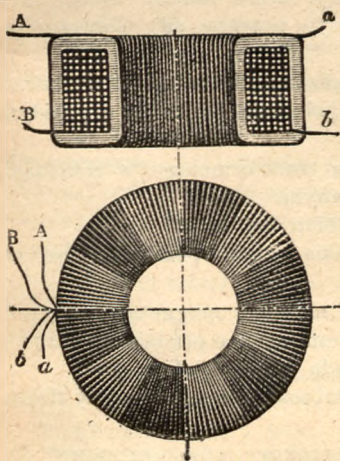


Fig. 270.

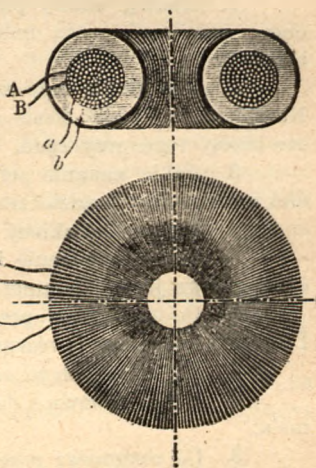


Fig. 271.

W transformatorach metalowych (fig. 271) oba nawinięcia prądu leżą razem, tworząc jądro przyrządu, zaś drut żelazny otacza je z zewnątrz. Płaszczyzny, w których spoczywa drut, leżą normalnie do drutu miedzianego tak, że magnetyczne linie sił mogą przebiegać w nich bez przeszkody, tymczasem powstawanie prądów zjawiających się w żelazie równoległe do drutu miedzianego znajduje przeszkodę. W tym wypadku magnesowanie jest poprzeczne.

Isolacya powietrzna w transformatorach, służących do wysokich napięć, już nie wystarcza; dlatego przyrządy te zanurzane są w naczyniach napełnionych olejem dobrze izolującym.

Pytania do wykładu XXVI.

1. Nazwij cztery punkty, które musisz uwzględnić, chcąc otrzymać przez indukcję potężne siły elektromotoryczne.

2. Jak wedle tego urządzony jest induktor do iskiei? Naszkicuj go i podaj ściśle wyjaśnienie, jak działają pojedyncze części tego przyrządu.

3. Jakie zadanie pełnią transformatory w zakładach elektrycznych o prądzie zmiennym?

4. Opisz i naszkicuj telefon Bell'a.

5. Jakie urządzenie i jakie zadanie pełni mikrofon i na czym polega jego działanie?

6. Co rozumiesz przez maszynę magnetoindukcyjną? Dlaczego nazywają ją również maszyną o prądzie zmiennym?

7. Na czym polega zasada dynamoelektryczna?

8. Opisz budowę i działalność dynamomaszyny Gramme'a.

9. Co rozumiesz przez indukcję jednobiegunową? Jakie przyrządy bywają używane do okazania tych zjawisk?

10. Pod igłą kompasową obraca się szybko równoległy do niej krążek miedziany naokoło osi zlewający się z pionową osią obrotu igły. Igła natychmiast zaczyna się obracać, przytem w tym samym kierunku co krążek. Jak to objaśnić?

11. Pomiędzy nasadami biegunów potężnego elektromagnesu wyżłobionemi w kształcie walca szybkim ruchem kręci się walec miedziany. Z początku idzie to z łatwością, dopóki magnes nie jest wzbudzony; ale skoro tylko zamkniemy prąd magnetyczny, doznajemy w czasie obrotu znacznego oporu i walec rozgrzewa się. Skąd to pochodzi?

DODATEK

do części drugiej.

Praktyczne wskazówki dotyczące sporządzania przyrządów potrzebnych do doświadczeń z elektrycznością wołtaiczną).*

Jak się robi statywa Oersted'a do badania wpływu prądów na igłę magnesową. 1) Przeczytaj pilnie następujące uwagi, poczem wykonaj podług perspektywicznego widoku na fig. 113 str. 189 t. 1 przyrząd *w profilu i na planie* (wielk. nat. lub w zmniejszeniu ale wskazując obok skalę).

2. Zrób tabelaryczny wykaz rozmaitych materiałów żądanych wraz z wymiarami, umyślnie tak rozległemi, ażeby wszelkie szczegóły rysunku dawały się wypracować.

3. Dostań kawałek sośniny żółtej (sosna syberyjska) na podstawę i wyhebluj z niej formę zupełnie płaską i prostokątną o wymiarach $35 \times 15 \times 2$ cm.

NB. Najprostszą drogą wiodącą do tego celu jest następująca.

a) Wyrównaj doskonale heblem dajmy na to, dolną powierzchnię, sprawdzając dokładność roboty zapomocą węgielnicy kładzionej w poprzek do narożników przeciwnych dopóty, aż pomiędzy krawędzią dolną węgielnicy a powierzchnią deski już nie ujrzysz żadnego światła. *Płaszczyznę tę oznacz ołówkiem Nr. 1.*

b) Wyhebluj jedną z podłużnych krawędzi (t. j. krawędź równoległą do kierunku włókien drzewa) prosto i prostokątnie do płaszczyzny Nr. 1, sprawdzając dokładność roboty węgielnicą i kątomierzem . *Tę krawędź oznacz ołówkiem jako Nr. 2.*

*) Tu przeczytaj wstępną uwagę w dodatku do części pierwszej

c) Przyłóż twój kątomiar **L** szczelnie do Nr. 2 tak, żeby krawędź zewnętrzna była odległa o kilka milimetrów od jednego końca podstawy; ostrym nożem zrób w powierzchni Nr. 1 głębokie nacięcie, przyciskając klingę noża jednostajnie do zewnętrznej krawędzi twojego kątomiaru **L**.

Przyłożywszy go teraz w podobny sposób do trzech pozostałych stron, zrób w nich wycięcia, które mają znajdować się z poprzednio wyciętą linią w jednej płaszczyźnie. Takie nacinanie linii na brzegach deski ma na celu wytknąć linię przewodnią do dobrego wyheblowania. Zwykłej linii zrobionej ołówkiem łatwo się niedowidzi, tymczasem głębokie nacięcie nożem jest o wiele pewniejsze i przeszkodzi ci odszczepić heblem kawałek drzewa w końcu deski. Teraz te krawędzi zrób ściśle prostokątnymi do Nr. 1 i 2, sprawdzając ściśłość twojej pracy kątomiarzem **L**. *Krawędź tę oznacz Nr. 3.*

d) Oprowadź drugą krawędź nożem w ten sam sposób co Nr. 3 i wyhebluj ją prostokątnie do Nr. 1 i 2. *Oznacz tę krawędź Nr. 4.*

e) Zapomocą ciesielskiego kątomiaru lub linijki metrycznej i noża przeprowadź na dolnej i górnej płaszczyźnie linie równoległe do Nr. 2 w odległości 15 cm. Tę krawędź podłużną wyhebluj równoległe do Nr. 2 i prostopadle do Nr. 1. *Stronę tę oznacz Nr. 5.*

f) Zapomocą twojego ciesielskiego kątomiaru ustawionego na 2 cm, który przykładasz mocno do płaszczyzny Nr. 1 i którym oprowadzasz wszystkie krawędzi, oznacz na tych ostatnich linię równoległą do Nr. 1. Aż do tej linii shebluj tę płaszczyznę i wyrównaj ją doskonale tak jak w wyp. 1 płaszczyznę Nr. 1. *Płaszczyznę tę oznacz Nr. 6.*

g) Zaokrąglij teraz wszystkie cztery krawędzi płaszczyzny Nr. 6 (promień około 3 mm) i wygładź piaskowym papierem obie płaszczyzny górną i boczną oraz strony (t. j. Nr. 2, 3, 4, 5 i 6).

4. Dostań dwa kawałki żółtej sośniny, lepiej jeszcze mahoni lub w ogólności twardego drzewa. Heblowaniem nadaj im wymiary $20 \times 5 \times 2$ cm, poczem ściśłość roboty sprawdź

zupełnie tak samo jak w poprzednich uwagach, dotyczących sporządzenia podstawy.

5. Postaraj się o dwa kawałki drutu miedzianego lub mosiężnego,ciągnionego na twardo o średnicy blisko 3 mm i długości 35 cm. Jeden z nich w_1 wyprostuj, drugi w_2 zegnij w środku w półkole. Teraz obetnij je dokładnie do jednakowej długości i na każdym z czterech końców odpowiednim nożem natnij śrubę (3 mm) blisko 12 mm długą. Wypoleruj te druty w_1 i w_2 do polysku i polakieruj lakiem mosiężnym, chroniącym od utlenienia.

6. Z grubej na 1 cm i okrągłej sztaby z mosiądzu hartowanego wytocz cztery końcówki T_1, T_2, T_3 i T_4 kształtu załączonego na fig. 113, blisko 3 cm długie. Zanim odejmiesz końcówki te z tokarni, prześwidruj każdą z nich całkowicie wzdłuż osi i świderkiem 3 mm-wym natnij w środku mutrę taką, by w nią wchodziły śruby do zamocowania drutów w_1 i w_2 . Wtenczas zdejmujemy je z tokarni i robimy w nich świderkiem otwór przeszło 3 mm szeroki, w odległości blisko 15 mm od końca zewnętrznego końcówki, prostopadle do osi śruby. Te małe otwory służą do przyjmowania końców giętkich drutów przewodnich od baterii. Teraz wytocz cztery piękne główki do śrub krańcowych blisko 18 mm długich i 3 mm grubych i zaopatrz je w śruby, któreby wchodziły w mutry końcówek, główkom nadaj albo formę okrągłą albo czworokątną tak jak na rysunku.

7. Weź dwie pionowe deski drewniane i zmocuj je razem szczelnie i dokładnie. Zrób w nich dwa otwory o średnicy około 3 mm tak, żeby w_1 i w_2 w nie wchodziły w odległości blisko 5 cm od siebie, przyczem otwór górny powinien się znajdować w odległości około 3 cm od górnego końca deski.

8. Każdą z tych statyw drewnianych osadzamy mocno w podstawie (aż do połowy grubości tej ostatniej) dwiema mosiężnymi śrubami blisko 4 cm długości, wśrubowanymi w podstawę od spodu, czyli z płaszczyzny Nr. 1.

9. Odśrubuj teraz jeden z tych słupków drewnianych i wpuść druty w_1 i w_2 w ich otwory w drugim słupku. Przy-

śrubuj końcówki T_1 i T_4 , poczem swobodną statywę wstawiamy na miejscu, wpuszczając równocześnie dwa inne końce w_1 i w_2 w otwory umyślnie zrobione w tej statywie. Teraz przyśrubowujemy T_2 i T_3 . Następnie przyśrubowujemy znowu mocno statywę od spodu pod kątem prostym do podstawy.

10. Teraz należy wszystkie części drewniane polakierować najlepszym lakierem szellakowym, poczem przykleić do górnej płaszczyzny podstawy czytelnie zapisaną kartkę papieru, zawierającą opis przyrządu, nazwisko twoje, datę i miejsce wykonania.

11. Osadź na ostrzu w płaszczyźnie poziomej swobodnie obracającą się igłę kontrolującą (sporządzoną według wskazówek podanych w dodatku do cz. I) na statywie tak, żeby igła znajdowała się w środku pomiędzy drutami w_1 i w_2 i wykonaj wszystkie doświadczenia omawiane na wykładach 10 i 11, a które dają się wykonać tym prostym i pouczającym przyrządem.

Jak się robi galwanoskop. Przeczytaj następujące wskazówki i narysuj przekrój elewacyjny i w planie tak jak na fig. 118 str. 196, który to rysunek do użytku uczniów lub do okazywania w niewielkiej klasie można wykonać, w powiększeniu 6-krotnem jak na fig. 114.

2. Wykonaj w formie tabelki spis wszystkich materiałów, wyszczególniając ich wielkość dokładną, i postaraj się o rozmaite materiały obrobione zgruba, na których pozostawiono tyle właśnie brzegu, ile trzeba do doprowadzenia do żądanych wielkości.

3. Wytocz na tokarni lub wyhebluj z kawałka żółtej sośniny lub mahoniu dokładną podstawę. W środku drewnianej podstawy zrób mały otwór do umieszczenia ostrza, wygładź papierem szmirglowym i posmaruj górną i boczną płaszczyznę dwiema warstwami lakieru szellakowego.

4. Albo a) sporządź heblem, wiertnicą i dłutem ramę drewnianą kształtu  (podobną do wyobrażonej na fig. 117) z jednej sztuki mahoniu, z płytką rynną, 2,5 cm szeroką i 5 do 6 mm głęboką wzdłuż górnej i dolnej płaszczyzny

oraz boków do ułożenia zwojów drutu i z otworem w środku kształtu  15 cm długim i 2,5 cm wysokim, który wpoprzek przecina ramę służącą do umieszczenia igły magnesowej, któraby w otworze tym mogła się wahać w tę i ową stronę; lub też b) zrób ładną ramę mosiężną kształtu  według tych samych zasad co tamta w a), lecz z końcami i bokami zaokrąglonemi zapomocą narzędzi używanych do obrabiania mosiądzu i kolby do lutowania; albo c) wyheblujmy z drzewa rodzaj kołka 20 do 25 cm długiego, 15 cm szerokiego i 2,5 cm grubego z końcami zaokrąglonemi, które z jednej strony są nieco stożkowate i w środek strony krótszej wpuśćmy klin drewniany 10 do 12 cm długi i 20 mm szeroki tak, żeby strona ta po wpędzeniu klina rozszczepiła się na jakie 15 cm.

5. Przypuśćmy, że skorzystaliśmy z przepisu ostatniego c), jako najłatwiejszego i najszybszego, chociaż być może nie najpiękniejszego do naszego zadania. Wtedy kupujemy około 30 m drutu miedzianego obwiniętego bawełną, grubego na 0,7 mm (w stanie obnażonym) i obwijamy nim mocno, gęsto i zgrabnie ów kołek drewniany w odległości blisko 6 cm od strony krótkiej, podczas gdy klin wpędzony został głęboko. Nawijamy 15 zwojów na długość i 5 warstw na grubość albo 20 zwojów na długość przy 4 warstwach, zostawiając w każdym końcu na wszelki wypadek około 15 cm drutu, do którego później mają być przymocowane końcówki.

Nawlecż w iglicę mocną nić i okręć nią dwa lub trzy razy te zwoje, poczem mocno zwiąż w sześciu miejscach t.j. w obu końcach tudzież u góry i u dołu z obu stron w odległości blisko 4 cm od końców. Teraz powlecż zewnętrzne warstwy cewki trzema lub czterema warstwami lakieru szellakowego, który po każdym posmarowaniu powinien zwolna wysychać przy ogniu *).

*) To i późniejsze lakierowanie może być zbyteczne, jeżeli uczeń umie zrobić ładną i mocną cewkę. W tym wypadku powinien on użyć drutu obwiniętego zieloną bawełną lub zielonym jedwabiem, ściągając przytem rozmaite warstwy drutem

6. Umieszczamy cewkę w środku płyty i naznaczamy na niej jej zarys. Dłutkiem robimy w podstawie zagłębienie blisko na 1 cm w głąb, tak żeby w nim mogła się zmieścić dolna połowa cewki.

7. Wyjmujemy teraz klin, ściskamy nanowo rozszepione końce kołka drewnianego i cewkę ostrożnie usuwamy. Teraz wewnętrzną stronę zwojów należy polakierować kilkakrotnie i zdjąć wiązadła bawełniane, gdy to będziemy uważali za właściwe. Nareszcie lakierujemy górną i wewnętrzną stronę, aż całość będzie gładka, połyskująca i trwała. Narysuj skalę na grubym, białym papierze rysunkowym albo na cienkiej białej tekturze i podziel ją jak na figurze. Wprowadź tę skalę do cewki i przyklej obie, skalę i dolną część cewki, w środku podstawy drewnianej.

8. Dostań lub sam zrób (stosownie do poprzedniej wskazówki) dwie końcówki mosiężne T + i T — kształtu wyżej opisanego.

9. Obnaż oba swobodne końce zwojów, oskrob lub wygładź aż do białości papierem szmirglowym, to samo uczynj z dolnymi końcami końcówek. Wśrubuj końcówki do połowy w podstawę, wyciągnij wolne końce drutu i obnażoną jego częścią dwa razy obwiń końce śrub, poczem przyśrubuj te ostatnie mocno do podstawy, aby wytworzyć pomiędzy każdą końcówką a jednym końcem zwojów dobrej zetknięcie elektryczne *).

obwiniętym nicią zieloną albo samą nitką, gdyż zielona ładniej wygląda niż biała. Całą cewkę następnie można nie przyklejać, lecz tylko mocno przywiązać do podstawy drewnianej tym samym drutem, z którego zrobione są zwoje, przeciągniętym przez dziury w podstawie.

*) W delikatniejszych przyrządach elektrycznych jest rzeczą *wprost* niezbędną przylutowywać końce drutów do końcówek. Mogłoby to nastąpić i w tym razie, gdyby końcówki posiadały własny gwint i mutrę, ukrytą w podstawie, tak aby je, można do nich mocno przyśrubować. Jeszcze lepszy sposób

10. Wbij iglicę lub ostrze stalowe SP od spodu w poprzecznie zrobiony otwór w podstawie tak, aby ono wystawało tyle ponad skalą, by igła magnesowa zajmowała środek cewki pomiędzy wewnętrznymi stronami górnej i dolnej części zwojów.

11. Ustaw podstawę poziomo na dwóch klockach drewnianych lub książkach, tak aby uszko iglicy nie dotykało stołu, sprowadź igłę magnesową NS osadzoną na kołpaczku szklanym GC (sporządzonym według wskazówek udzielonych w dodatku do cz. I na str. 167) i zrównoważ ją w ten sposób, ażeby wahania jej w położeniu poziomem nad skalą i w środku pomiędzy dwiema wewnętrznymi stronami cewki były zupełnie swobodne. Po uskutecznieniu tego odetnij koniec igły sterczący jeszcze u spodu drewnianej podstawy.

12. Jeżeli chcesz zbadać działanie prądu przebiegającego przez 1, 10, 20, 40, 60 lub inną naprzód umówioną liczbę zwojów drutu, w porównaniu z całkowitą liczbą zwojów, należy przynawijaniu drutu na kołek lub ramę kształtu  zaraz po osiągnięciu żądanej liczby zwojów przylutować i przywiązać kawałek drutu kształtu  tak aby on przylegał do jednego z krótkich boków prostokąta zwojów i łączniki te odosobnić zapomocą papieru lakierowanego lub parafinowanego. Wolne końce tych kawałków  można wtedy przytwierdzić do oddzielnych końcówek, urządzonych w równych odstępach w drewnianej podstawie z liczbami napisanymi tuż obok na podstawie i wskazującymi odpowiednie liczby zwojów drutu pomiędzy niemi a końcówką połączoną z wewnętrznym końcem cewki i przymocowaną z drugiej strony podstawy.

13. Zamiast używać tego przyrządu, wyłącznie do wskazywania prądu i jego kierunku, uczeń, który zrozumiał prawo Ohm'a (wyłożone na rozmaitych wykładach w cz. II), może przystąpić do mianowania swojego galwanometru

pozwalający rozbierać przyrząd, polega na przylutowywaniu końców drutu do krążków miedzianych lub mosiężnych umieszczonych pod końcówkami.

w miliamperach (0,001 a), a nadto wykreślić krzywą wyobrażającą zależność pomiędzy odchyleniami w stopniach a natężeniami prądu w miliamperach. Wykonać to można na rozmaite sposoby, z których najprostszy polegałby na dostaniu z pracowni normalnego galwanometru stycznych albo czułego ampermetru (którego wartości albo wychylenia dokładnie poznaliśmy) i na złączeniu tego przyrządu w jednym obwodzie z własnym galwanometrem (ustawionym wraz z cewką i igłą w południku magnetycznym), z baterią i oporem zmiennym tak, żeby normalny przyrząd wskazywał pokolei 1, 2, 3 i t. d. miliampery; notujemy współcześnie odchylenia igły pod wpływem tych prądów zapomocą atramentu czerwonego na skali wewnętrznej lub zewnętrznej galwanoskopu; w ten sposób otrzymamy skalę w miliamperach*). Chcąc wykreślić krzywą, bierzemy kawałek papieru kratkowanego**) i oznaczamy stosowny punkt w sąsiedztwie lewego, dolnego rogu jako punkt O. Odkładamy odchylenia na linii pionowej, miliampery na poziomej, przechodzącej przez ten punkt O. Przez każdy ze znaków odchyień przeprowadzamy linię poziomą, przez każdy ze znaków miliamperów linię pionową. Miejsca przecięcia linii wychyleń z odpowiednimi liniami prądów znaczymy krzyżykami $\times$ i przez te krzyżyki pociągamy krzywą. Jest to charakterystyczna krzywa twojego przyrządu, która graficznie wyobraża zmiany w wychyleniach wraz z natężeniem prądu.

*) Inne metody czytelnik znajdzie w „Podręczniku kieszonkowym” Munro i Jamieson’a albo u Ayrton’a „Practical Electricity,” istniejącym w przykładzie niemieckim Dr. Krieg’a; lub też u Kohlrauscha „Leitfaden der praktischen Physik;” u Uppenborn’a „Kalender f. Elektrotechniker” 1897, str. 102—106. Patrz także wykład XXV tego dzieła.

**) Chodzi tu o papier kratkowany albo milimetryczny, którego można dostać w każdym składzie materiałów piśmieniowych.

Jak się robi solenoid. W t. I książki niniejszej nieraz była mowa o użytku i działaniu solenoidów; naprz. w wykładzie XIII, XIV i XV. W przypuszczeniu, że nauczyciel zechce, by jego uczniowie umieli sporządzać solenoidy rozmaitej wielkości do jego doświadczeń, albo wykonywali cewki do galwanometrów zwierciadełkowych, a zarazem by ułatwić późniejszy opis tego „jak się robi elektromagnes,” autor uważał za właściwe porobić następujące uwagi praktyczne, dotyczące rozmaitych czynności potrzebnych przy projektowaniu i budowie tego prostego i pożytecznego przyrządu.

1. Oznacź dokładnie, do czego ma służyć twój solenoid.

2. Po przeczytaniu tych wskazówek i wykonaniu niezbędnych obliczeń, narysuj kompletny przekrój solenoidu, pionowy i poziomy, i ulóż tabelkę rozmaitych materiałów potrzebnych wraz z wymiarami.

3. Przekonaj się jak najdokładniej, jakie natężenie prądu w amperach możesz lub pragniesz otrzymać przy pomocy E. M. S. pozostawionej do twego rozporządzenia bateryi lub dynamomaszyny w drucie solenoidu, by otrzymać pożądane działania.

4. Oznacź grubość znoszącego ten prąd drutu, pomnąc, iż magnesowanie wytwarzane w kierunku osi solenoidu jest wprost proporcjonalne do amperzwojów drutu w solenoidzie t. j. do iloczynu amperów i całkowitej liczby zwojów. Naprzykład jednakowe działanie magnetyczne daje 10 amperów przebiegających 100 razy i 1 amper przebiegający 1000 razy naokoło cewki. Skoro masz tylko kilka ogniw akumulatorów lub jedną baterię o małym oporze wewnętrzym, która pozwala otrzymać na końcówkach solenoidu różnicę potencjału, dajmy, 10 voltów, w takim razie (według prawa Ohm'a), jeżeli chcemy otrzymać prąd 10 amperów w zwojach twojego solenoidu, opór jego nie powinien przekraczać 1 oma. Otóż drut miedziany gruby na 1,7 mm w solenoidzie, używanym w cią-

gu krótkiego czasu, znosi prąd 10 amperów bez rozgrzania nadmiernego. Około 130 m tego drutu przedstawia opór 1 oma *).

Ztąd oznaczamy średnicę i długość drutu a według tego będziemy mogli zdecydować rozmiary cewki, która ma zawierać taką długość drutu. W małych solenoidach lub elektromagnesach, które prawdopodobnie będą wykonywane przez uczniów, nie ma obawy o uszkodzenie powłoki bawełnianej izolującej drut, jeżeli prąd przesyłany wynosi 5 amperów na 1 mm² przekroju drutu.

Jakoż drut o średnicy 3,5 mm znosi bezpiecznie 48 amp.

2,7	"	"	"	28	"
2,0	"	"	"	15	"
1,5	"	"	"	9	"
1,0	"	"	"	4	"
0,7	"	"	"	2	"
0,5	"	"	"	1	"

Jeżeli możemy dowolnie rozporządzać natężeniem prądu, wypadnie, rzecz prosta, taniej wziąć do solenoidu drut bardzo gruby o niewielu zwojach i przepuszczać przezeń prąd mocny, niż brać drut bardzo długi i cienki i przepuszczać przezeń prąd słaby. Tutaj możemy polecić następujące wymiary trzech rozmaitych solenoidów, zrobionych przez uczniów autora a które najlepiej robić parami, gdyż wtedy dają się nasadzać na jądra elektromagnesów, używanych do magnesowania sztab stalowych lub też do pokazywania wielu pożytecznych doświadczeń z dziedziny elektromagnetyzmu. Rozmaite litery posiadają to samo znaczenie co na fig. 272 i w następnych formułach.

*) Tabelki dotyczące rozmiarów, długości, ciężarów i oporu drutu miedzianego znajdziesz u Rankine'a „Prawidła i tablice” str. 350, Uppenborn'a „Kalender f. Elektr.” 1897, str. 84—91.

Rozmiary solenoidów.

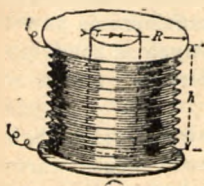
	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3
$r =$	2,5 cm	2,5 cm	1,25 cm
$R =$	4,3 "	4,5 "	2,15 "
$d =$ obwinięty	0,2 "	0,4 "	0,15 "
nagi	0,15 "	0,34 "	0,1 "
$h =$	17,6 "	18,8 "	9,45 "
$L =$	169,2 m	51,7 m	40,4 m
$n =$	9	5	6
$N =$	792	235	378
Opór =	1,67 ω	0,10 ω	0,90 ω

Określiwszy średnicę i długość drutu, który ma być użyty, postaraj się najpierw o próbkę jego obwiniętą dubeltowo bawełną. Zmierz jego średnicę wraz z obwinięciem zapomocą mikrometru do drutu, poczem określ według szkicu poniższego, wzorów i przykładu rozmiary cewki, która ma go zawierać.

Następnie, zanim kupisz potrzebną długość, dobrze jest zmierzyć starannie dokładną długość drutu, odciąć z niej 1 do 2 m i zważyć tę ilość możliwie dokładnie. Wtedy oblicz ciężar przy żądanej długości albo długość przypadającą na kilogram, bo drut sprzedaje się zwykle na wagę i tabelki ciężaru drutu izolowanego znacznie się różnią od siebie. W każdym razie jest to ćwiczenie pożyteczne i zajmujące.

Wypełnienie cewy kołowej drutem okrągłym:

Niechaj (fig. 272):



$r =$ promień jądra kołowej cewy

$R =$ " zewnętrzny "

$d =$ średnica zewnętrzna drutu wraz z izolacją

$h =$ wysokość lub długość cewy pomiędzy stronami wewnętrznymi flansz

$L =$ długość drutu na cewie (przy zupełnem, szczelnem nawijaniu)

n = liczba warstw

N = liczba wszystkich zwojów.

NB Oznaczenia r , R , d , h i L powinny być obliczone w tej samej jednostce naprz. centymetrze.

Wtenczas

$$L = \frac{\pi h}{d^2} (R^2 - r^2) = \frac{\pi h}{d^2} (R + r) (R - r);$$

$$n = \frac{R - r}{d} ; N = \left(\frac{R - r}{d^2} \right) h$$

Przykład. Przypuśćmy, że mamy cewkę o rozmiarach następujących: $r = 2,5$ cm, $R = 4,5$ cm, $h = 18,8$ cm i chcemy ją obwinać drutem o średnicy 3,4 mm, obwiniętym dubeltowo bawelną. Wraz z tym obwinięciem drut ów mierzy 0,4 cm = d ; jaką długość L zabierze ta cewa przy obwijaniu szczelnem?

$$L = \frac{3,14161 \cdot 18,8}{0,16} \cdot 7 \cdot 2 = 5170 \text{ cm}$$

oraz

$$N = \frac{4,5 - 2,5}{0,16} \cdot 18,8 = 235 \text{ zwojów.}$$

6. Zrób swoją cewkę albo przez wytoczenie jej z jednego kawałka dobrze wysuszonego twardego drzewa i następnie przez wydrążenie, albo lutując wytoczone krążki mosiężne do rury mosiężnej. Jeżeli obierzesz ten ostatni sposób, polakieruj rurę mosiężną od zewnątrz i krążki mosiężne od wnętrza. Jeżeli solenoid przeznaczony jest do prądów przerywanych albo zmiennych, powinienes go wzdłuż jednej strony rościć piłą i wzdłuż całej jego długości w szczelinę tę wpuścić kawałek papieru izolującego; czyni się to w celu zapobieżenia powstawania w rurze mosiężnej prądów indukcyjnych za każdym razem, gdy prąd zmienia natężenie lub kierunek, (patrz wykład XIX).

7. Podczas nawijania drutu na cewę zwróć dokładną uwagę na liczbę zwojów w każdej warstwie, liczbę warstw i odpowiednio całkowitą liczbę zwojów N , którąto liczbę później należy wypisać na stronie zewnętrznej cewki, będzie to

bowiem stały mnożnik przez natężenie prądu w amperach zawsze, gdy będziemy chcieli oznaczyć natężenie pola magnetycznego wywołanego przez prąd *).

8. Skoro nawijamy drut na jakąkolwiek cewkę metalową mającą służyć do elektromagnesu, musimy zgodnie z fig. 273 wciąż oznaczać opór izolacji i konstatować, czy niema po-

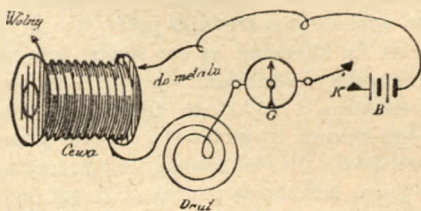


Fig. 273.

łączeń przewodzących. Wewnętrzny koniec druta jest wolny albo izolowany, zewnętrzny łączy się z czułym galwanometrem G, przydatnym do wykrywania najmniejszego zmniejszenia oporu izolacji, gdy połączony zostanie zapomocą klucza K z baterią B.

9. Pokryj zewnętrzne warstwy solenoidu lakierem w taki sam sposób, jak to nadmieniliśmy w poprzedniej uwadze.

10. Przymocuj cewkę na płaskiej podstawie drzewa, zaopatrzonej w dwie mosiężne końcówki i przylutuj końce drutu do tych końcówek (patrz fig. 187 t. I. str. 434) lub też przymocuj pomiędzy flanszami kawałek twardego drzewa i końcówki osadź w tym kawałku drzewa. Ostatnia forma jest najdogodniejsza, wtedy gdy solenoid ma być używany wraz z jądrami żelaznymi jako elektromagnes.

*) Szczegóły tego postępowania znajdziesz w rozdziale XVIII.

Jak się robi elektromagnes. 1. Przedewszystkiem zdajmy sobie sprawę z użytku naszego elektromagnesu: czy ma on służyć do magnesowania sztab stalowych (jak na fig. 11 str. 10 cz. I) czy do młotka Marse'a (fig. 61 str. 93 cz. I) lub może do dzwonka elektrycznego (fig. 158 str. 350 t. 1) albo poprostu do przyciągania kotwicy z zawieszonym na niej ciężarem jak na fig. 155 str. 346 t. 1).

2. Narysuj pionowy i poziomy przekrój jądra żelaznego, pomnając, że im większa jest średnica jąder, tem krótszą jest ich długość tudzież im bliższymi są one sobie, tem mniejszy jest ich opór magnetyczny i skutkiem tego, jeżeli zrobione są z najlepszego szwedzkiego i miękkiego żelaza, tem większe będzie natężenie magnetyzmu wywołanego w nich przez określoną liczbę amperzwojów. W elektromagnesie przedstawionym na fig. 11 str. 10 jądra żelazne są poprostu okrągłemi kawałkami miękkiego szwedzkiego żelaza, przyśrubowanego mocno do płaskiego kawałka takiego samego żelaza. Płaszczyzna przekroju jarzma) nigdy nie powinna być mniejsza od płaszczyzny przekroju jąder; w rzeczy samej pierwsza powinna być $1\frac{1}{2}$ do 2 razy większą.

Jądra powinny wystawać przynajmniej 1 cm po za końce cewki solenoidalnej, jeżeli magnes ma służyć do magnesowania sztab stalowych a to w celu uchronienia flansz lub izolacyi drutu od uszkodzenia.

3. Określ (tak jak dla solenoidu) grubość drutów i liczbę zwojów, któremi możesz obwinać cewkę lub które możesz nawinać wprost na jądro żelazne, gdybyś chciał obejść się bez cewki.

4. Nawiń drut na oba ramiona jądra tak, żeby on ciągnął się nieprzerwanie czyli nie zmieniał kierunku zwojów. Jeżeli chcesz użyć cewki, tedy połącz je tak, ażeby prąd wywoływał w jednym końcu biegun Pn, w drugim Pd. Przy pomocy bardzo obszernych wskazówek, udzielonych na wykładzie XV, uczeń bez żadnej trudności będzie umiał łączyć cewki solenoidu.

5. Jako przykład takiego łatwo wykonanego elektromagnesu do magnesowania stalowych sztab magnesywnych i do pokazywania uczniom większości zwykłych działań elektromagnetycznych, wymaganych od takiego przyrządu, podajemy rozmiary następujące:

Rozmiary elektromagnesu: średnica jąder $= 2,5$ cm; długość jąder 12 cm; odległość pomiędzy środkami jąder $= 8$ cm; wymiary jarzma $14 \times 2,5 \times 2,5$ cm; grubość drutu miedzianego, dubeltowo obwiniętego bawełną 1,7 mm; ilość warstw drutu nawiniętego wprost na każdym ramieniu jądra $= 4$. Jądra wystają prawie na 1 cm po za zwoje, jarzmo zaś mocno jest przyśrubowane do podstawy z twardego drzewa. Taki elektromagnes znosi około 30 kg przyczepionych do jego kotwicy, jeżeli po jego drucie prześlemy prąd 12 amp., jądra zaś i jarzmo zrobione zostały z miękkiego kutego żelaza.

6. Jako przykład taniego i łatwo wykonanego elektromagnesu do małego dzwonka elektrycznego przytoczymy wymiary następujące:

Wymiary elektromagnesu do dzwonka domowego.

Średnica jąder $= 1$ cm; długość jąder $= 4,5$ cm; odległość pomiędzy środkami jąder $= 2,6$ cm; długość pomiędzy flanszami cew drewnianych $= 4$ cm; średnica wewnętrzna zwojów $= 1,3$ cm; zewnętrzna średnica zwojów 2,42 cm; średnica nagiego drutu 0,4 mm; obwiniętego jedwabiem 0,8 mm; liczba warstw zwojów $n = 7$; całkowita liczba zwojów $N = 350$; długość drutu na jednej cewce $= 20,45$ m; opór obu cewek 5,68 ω .

Dwa ogniwa Leclanché dające na końcówkach R. P. około 1,4 V., połączone ze sobą w jednym obwodzie z dzwonkiem, wystarczają w zupełności do działania, czyli dają prąd około $\frac{1}{4}$ ampera.

Jak się robi dzwonek elektryczny. 1. Przeczytaj pilnie następne wskazówki, poczem zrób kompletny rysunek dzwonka w przekroju pionowym i poziomym.

2. Spis tabelaryczny. Ułóż w formie tabelki spis wszystkich materiałów potrzebnych wraz z wymiarami, zostawiając stosowny margines do opracowania rozmaitych szczegółów.

3. **Model jarzma i ramy.** CJF. Z twardego drzewa zrób dokładny model jarzma i ramy żelaznej. Zrób formę tego modelu z żelaza o znacznej przenikalności. Wyświdruj w ramie otwór 0,6 mm taki, żeby się w nim mógł pomieścić słupek kontaktowy CP. Potem w jarzmie zrób dwa otwory do dźwigania jąder elektromagnesu. Otwory te powinny mieć światło $1\frac{1}{2}$ mm do pomieszczenia śrub. Zrób dalej dwa małe otwory w tym miejscu, gdzie sprężyna kontaktowa ma być przytwierdzona do ramy w S, i natnij w nich mutrę 0,15 mm.

4. **Podstawa mahoniowa MB.** Zrób dalej podstawę z dobrej deski mahoniowej blisko 2 mm grubej (patrz str. 177).

5. **Końcówki.** etc. $T_1 T_2$. Z pręta mosiężnego 2 mm wytocz dwie końcówki $T_1 T_2$ i trzy guziki (po jednym do każdej końcówki i jeden do przymocowania na dzwonku). Zanim

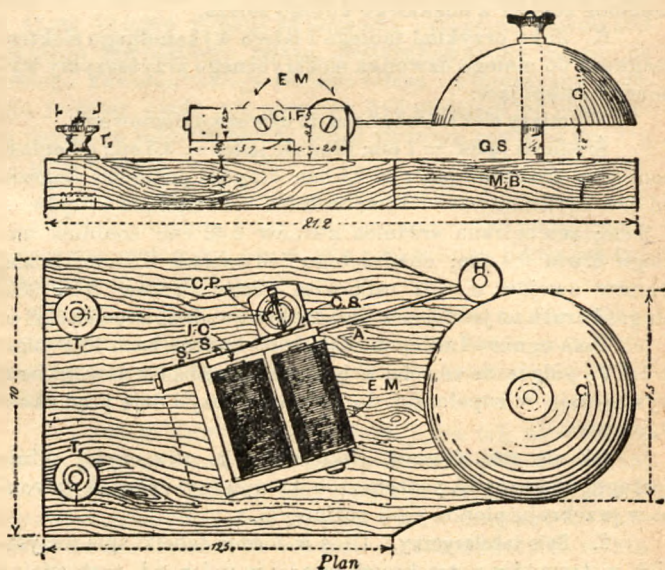


Fig 274. Przekrój elewacyjny i plan dzwonka elektrycznego.

Objaśnienie części:

MB	wyobraża	podstawę mahoniową
CJF	"	żelazną ramę
T ₁ T ₂	"	końcówki mosiężne
TW	"	krążki mosiężne końcówek
TN	"	guziki końcówek z mosiądzu
TS	"	śruby do końcówki z mosiądzu
B	"	cewki z drzewa bukowego
SJC	"	jądra z miękkiego żelaza
H	"	młotek mosiężny
A	"	kotwicę z miękkiego żelaza
CP	"	słupek kontaktowy z mosiądzu
AS	"	śruby mosiężne do przystosowywania
CS	"	sprężynę kontaktową ze stali
G	*	dzwonek z metalu Bell'a
EW	"	krążek ebonitowy
GS	"	filar dzwonka.

wyjmiesz guziki z tokarni, zrób w środku każdego z nich otwór i natnij w nim śrubę $\frac{1}{2}$ mm. Wytocz krążki do końcówek F₁ F₂ wielkości żądanej. Podobnież wykonaj z tego samego pręta mosiężnego 2 mm młotek H. Z pręta mosiężnego 1,2 mm wytocz dwie krańcowe śruby TS. Śruby te przechodzą w desce mahoniowej MB i służą do przymocowania końców T₁ i T₂ na ich miejscach właściwych.

6. **Słupek kontaktowy CP.** Ze sztabki mosiężnej 1,2 mm wytocz słupek kontaktowy CP. W środku zrób w nim otwór do AS. Wytocz gwóźdź P i w końcu jego natnij śrubę $\frac{1}{2}$ mm, któraby mogła wejść wgłąb CP. Wkręć P od spodu przez MB i CJF. Wkręć na P krążek EW a potem CP. Zrób inną śrubę AS, w ten sam sposób pasującą do otworu 0,5 mm w środku CP. Taka śruba powinna być zaopatrzona w ostrze platynowe, które tworzy nie utleniający się kontakt z odpowiednim guzikiem platynowym umieszczonym na sprężynie kontaktowej CS.

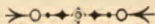
7. **Cewki B.** Wytocz dwie cewki z drzewa bukowego takie, żeby się w nich pomieściły z zupełną łatwością jądra SJC. Na każdą z tych cewek nawiń około 600 zwojów drutu wspomnianego dalej w (12).

11. **Filar dzwonka.** GS. Weź okrągły pręt żelazny. Do jednego końca przynituj poprzeczną sztabę mosiężną $2 \times 1 \times 0,3$ mm. W tej sztabie zrób dwa otwory do przepuszczenia dwóch śrubek z mosiądzu, służących do przymocowywania do podstawy mahoniowej MB. Obtocz dolny koniec żelaza i natnij w nim śrubę 0,5 mm do osadzania guzika mosiężnego, który sporządziłeś, robiąc końcówki. Kup dzwonek 7,5 mm z metalu Bella i przymocuj go do filara zapomocą tego guzika. Albo zrób model z drzewa i podług niego wytocz dzwonek z mosiądzu wielkości wymaganej.

12. **Drut.** Do obwinienia magnesów kup drutu miedzianego № 24 S. W. G. powleczonego podwójną warstwą jedwabiu.

Uwaga I. Ramę i jądra żelazne, wraz ze wszystkimi niezbędnymi pomniejszemi śrubami możesz dostać u każdego optyka.

Uwaga II. Skoro uczeń pilnie przestudyował pomienione uwagi praktyczne i wykonał z powodzeniem przyrząd tu opisany, można go zachęcić do wykonania własnoręcznego rozmaitych przyrządów przytoczonych w cz. II.



CZĘŚĆ III.

Elektryczność przez tarcie czyli elektrostatyka.

WYKŁAD XXVII.

Treść: Dawne dzieje elektryczności i pochodzenie wyrazu. — Elektryzacya przez tarcie — Elektryzacya i przyciąganie. — Konieczność utrzymywania przyrządów w suchości i cieple. — Stół do suszenia i ogrzewania tudzież piec wodny do ogrzewania. — Odpychanie elektryczne. — Pytania.

Dawne dzieje elektryczności i pochodzenie wyrazu. Bliżko na 1500 lat przed nami, (600 przed n. Chr.) filozof grecki Tales z Miletu zauważył, iż kopalna żywica zwana bursztynem, potarta materią wełnianą, nabywała szczególnej własności przyciągania lekkich ciał. Bursztyn nazywano po grecku *ἤλεκτρον* (electron), zkaąd w drodze naturalnej powstała nazwa „elektryczność”. Atoli siła przyciągająca bursztynu potartego przez długi ciąg wieków (około 2200 lat) pozostawała faktem (w nauce) odosobnionym. W r. 1600 dr. Gilbert, przyboczny lekarz kr. Elżbiety odkrył, że wiele innych ciał oprócz bursztynu, na ten przykład szkło, siarka, zwyczajny lak, żywica etc., skoro zostały dobrze potarte, w podobny sposób wywierały siłę przyciągającą na inne ciała. Później dowiedziono, że skoro

tylko dwie *jakiegokolwiek* niejednakowe powierzchnie zostaną potarte o siebie lub doprowadzone do zetknięcia a potem oddzielone, tedy zjawia się szczególny stan wzbudzenia albo *stan elektryczny*. O ciałach, podlegających temu stanowi, mówimy, iż posiadają *ładunek elektryczny* albo iż znajdują się w stanie *elektryzacyi*, która wytwarza pomiędzy nimi a innymi ciałami, będącemi w stanie podobnym, pewne wysiłki odmienne od tych, jakie powstają skutkiem zwykłego przyciągania mas albo cząsteczek. Zobaczymy później, iż elektryzacya albo ładunek elektryczny pewnego ciała daje się dokładnie zmierzyć i traktować jak wielkość fizyczna.

Elektryzacya przez tarcie.*) Gdy powierzchnię jednego ciała pocieramy o powierzchnię innego ciała, tedy między powierzchniami stykającemi się występuje opór mechaniczny, który nazywamy *tarciem*. Tarcie owo sprzeciwia się ruchowi; skutkiem tego w ciągu pocierania używać musimy siły i wobec tego twierdzić możemy, iż przy tej działalności zużywa się lub stosuje praca. W razie powierzchni zupełnie jednakowych praca stosowana podczas pokonywania tarcia przekształca się wprost i całkowicie w inną formę energii a m. w ciepło, bez najślabszego śladu elektryzacyi. Jeżeli jednak pomiędzy dwiema trącemi się powierzchniami zachodzi jakakolwiek różnica (chemiczna,

*) W niektórych podręcznikach elementarnych elektryczności „przez tarcie” pojmują działalność tarcia. Co do nas wolimy nadawać mu znaczenie, stosowane przez inżynierów i techników t. j. że jestto opór naturalny albo przeciwiwanie się tarcia, przyczem zawsze wytwarza się ciepło i w przyjaznych warunkach elektryczność.

konstrukcyjna lub cieplna), tedy część danej pracy przeistacza się w elektryzację obu powierzchni. Jeżeli warunki są przyjazne, elektryzacja owa daje się ujawnić, lecz ilość elektryczności w taki sposób wytworzonej zmienia się tak dalece wraz z naturą i stanem powierzchni, iż dotąd nie znaleziono jeszcze żadnego stosunku pomiędzy pracą wykonaną a elektryzacją wytworzoną.*)

Elektryczność i przyciąganie. Doświadczenie I, 1. *Pręcik szklany potarty jedwabiem przyciąga lekkie ciała.* Na stole wykładowym lub na blasze cynowej albo na zwykłej tacy od herbaty, polakierowanej na czarno, nasyp cienkich skrawków rdzenia bżowego, ździebełek papieru jedwabnego**), puchu lub suchych trocin. Teraz potrzyj pręt szklany suchym i wygrzanym kawałkiem jedwabiu***) i nanowo przybliż do lekkich ciał. Postrzegasz, iż dają teraz jakby znaki życia, podskakują na odległość 5 do

*) Atoli racjonalnem wydaje się przypuszczenie, że skoro tylko na powierzchniach wytwarza się i utrzymuje elektryczność, to stosownie do określonej liczby użytych jednostek pracy powinno się wytworzyć o tyle mniej ciepła, ponieważ nie możemy wytworzyć jakiejkolwiek formy energii (mechanicznej, chemicznej, cieplnej, elektrycznej i magnetycznej) bez zniknięcia równowartej (w znaczeniu fizycznym) ilości tej lub owej postaci energii (Zasada zachowania energii).

**) Do tego celu nadalby się też papier używany na paski do przesyłania depeš w przyrządzie telegraficznym Wheatstone'a.

***) Poduszka pokryta jedwabiem, którego powierzchnia pociągnięta została cienką warstwą amalgamatu, daje najlepsze wyniki. Jak się robi amalgamat i utrwała na poduszce krytej jedwabiem, przeczytaj w końcu dodatku do części III.

10cm do laski szklanej i w szybkim tempie tańczą w górę i na dół. Dowodzi to, że laska została naelektryzowana (Fig. 276).

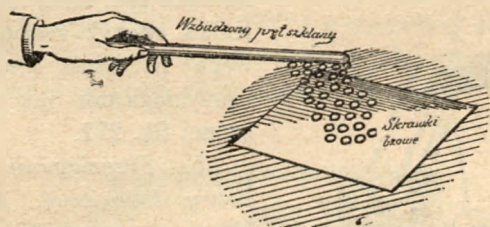


Fig. 276. Przyciąganie lekkich ciał przez naelektryzowaną laskę szklaną.

2. *Przyciąganie lekkich ciał przez laski laku etc. potarte flanelą.* Powtórz powyższe doświadczenie z ciałami lekkimi, biorąc do tego suche i ogrzane laski żywicy, ebonitu, siarki, potarte suchą i rozgrzaną poduszką flanelową, futrem kota lub lisim ogonem. W każdym z tych wypadków pomiędzy laskami naelektryzowanymi a ciałami lekkimi zjawia się przyciąganie.

3. *Laski naelektryzowane przyciągają pustą skorupę od jaja.* W obu końcach jaja kurzego, indycznego lub gęsiego robimy dwa otworki; zawartość wydmuchujemy i pustą skorupę kładziemy na stole wykładowym. Następnie pocieramy jedną z pomienionych lasek zgodnie z punktami 1. i 2. i zbliżamy do skorupy od jaja. Gdy będziemy teraz zwolna przesuwali laskę równolegle do stołu, skorupa toczyć się będzie za nią po stole.

4. *Naelektryzowane laski przyciągają zawieszoną kulkę bzuwą.* Każdą z pomienionych lasek, zwróconą jak

poprzednio, pocieramy i przysuwamy po kolei (zaraz po natarciu) do kulki z rdzenia bżowego (lub do pustej skorupy od jaja, dajmy na to wróblego), zawieszonej na nici do haka lub innej podpory.

Kulka odchyła się od pionowego położenia równowagi i przyciąga tak, jak na załączonej fig. 277.

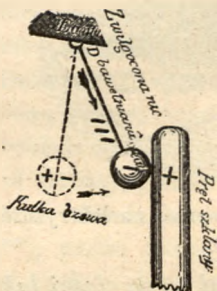


Fig. 277. Przyciąganie kulki bżowej; kulka przylega do laski (zawieszona na nici bawer-nianej).

5. *Przyciąganie długiej listwy drewnianej.* Aby pokazać z powodzeniem licznemu gronu słuchaczy zasadnicze to zjawisko przyciągania, bierzemy listwę drewnianą 2 cm długą i równoważymy ją na cienkiem ostrzu za pomocą kołpaczka szklanego kształtu $\wedge^*$).

Do jednego końca tej listwy przysuwamy jedną z pomienionych lasek po należytem wzbudzeniu jej przez tarcie, i znajdujemy, iż listwa ze znacznej odległości przyciągana jest do naładowanej laski. Przy pewnej zręczności można zmusić listwę do obracania się ze znaczną szybkością naokoło jej środka, nie przysuwając jednak ani razu do niej laski naładowanej bliżej nad 5 do 10 cm. Suchy i rozgrzany grzebień ebonitowy, przeciągnięty kilkakrotnie przez włosy na głowie lub zarost, wzbudza się przez to

*) Jak się robi taka listwa, patrz figurę i przepis w dodatku do cz. III.

tak silnie, iż zniewala listwę do posuwania się za nim z czarodziejską prawie prędkością.

6. *Przyciąganie lekkich ciał przez potarty papier.* Na suchym i rozgrzanym rajzbrecie połóż arkusz suchego i ciepłego papieru HBP (fig. 278) i wyszczotkuj go mocno suchą i wygrzaną szczotką od sukien B lub kawałkiem suchej i wygrzanej gumy do wycierania JR.

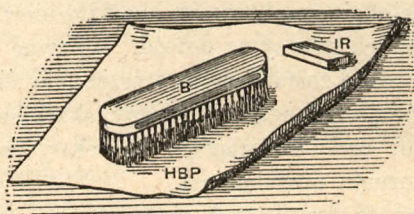


Fig. 278. Elektryzowanie kartki papieru do pisania przez szczotkę lub gumę do wycierania.

a) Papier zginamy tak, żeby strona naszczotkowana lub potarta była zewnętrzną, i stronę tę po kolei zbliżamy do lekkich kawałków papieru i t. d., do zawieszanej kulki z rdzenia oraz do listwy wahającej się na ostrzu. Widzimy, iż te w ogólności przyciągają się do wzbudzonego papieru.

b) Rozgrzewamy deskę, papier i szczotkę po raz wtóry i szczotkujemy papier jak poprzednio. Potem podnosimy papier za jeden rąbek i zbliżamy do ściany pokoju lub do tablicy ściennej. Odchodzi od ręki i z dużą mocą przylega do ściany lub tablicy, dopóki jego ładunek elektryczny nie rozproszy się przez uchodzenie do ziemi. Im

suchsza jest ściana lub powietrze w pokoju, tym dłużej papier przylega, ponieważ elektryczność mniej ma sposobności do przejścia w ziemię.

c) Wzbudzamy papier raz jeszcze, składamy i trzymamy nad głową niepomadowaną jednego z uczniów. W jednej chwili włosy powstają, gdyż przyciąga je papier naelektryzowany.

Wiele innych, podobnych doświadczeń możnaby nastręczyć wykładającym i uczniom, lecz już niewielkiej liczby przytoczonych starczy na dowód, iż pewne ciała suche i rozgrzane, skoro zostaną potarte przez inne ciała, niepodobne, otrzymują ładunek elektryczny, skutkiem czego naelektryzowane ciała przyciągają nieelektryczne i od nich nawzajem doznają przyciągania.

Konieczność utrzymywania przyrządów w stanie suchym i w cieple. We wszystkich poprzednich doświadczeniach uczeń mógł zauważyć, jak szczególną baczność należy przykładać do tego, by rozmaite ciała pocierane oraz narzędzia używane do pocierania (pocieracze) utrzymywane były w suchości i cieple; dając im bowiem ostygnąć do temperatury pokojowej, moglibyśmy już nie dostrzedz żadnego przyciągania laski szklanej i papieru, jakkolwiekbyśmy je mocno pocierali. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest nasza atmosfera, która w warunkach normalnych jest nasycona wilgocią, osadzającą się szybko na powierzchni przyrządów, jeżeli tylko temperatura tej ostatniej nie jest o parę stopni wyższą od temperatury otaczającego powietrza. Najcieńsza powłoka wilgoci, uchodząca całkowicie z pod zwykłej obserwacji, służy do przewodzenia ładunku elektrycznego w ziemię zaraz po jego wytworzeniu. Często

doświadczenia z elektrycznością przez tarcie udają się w zupełności, zanim zebrali się uczniowie lub słuchacze, lecz jeżeli nie pomyślano zawczasu o tem, by rozmaite przybory mogły być utrzymywane podczas doświadczeń w suchości i cieple, to musi nastąpić rozczerowanie i przykrość, z powodu nieudania się doświadczeń; niepowodzenie w danym razie pochodzi z zagęszczenia się wilgoci wydzielanej przy oddychaniu widzów. Doświadczenia z elektrycznością przez tarcie udają się najlepiej w powietrzu mroźnem, gdy atmosfera z natury rzeczy jest bardzo sucha; w każdym jednak razie nauczyciel powinien mieć zawsze pod ręką środki do łatwego i prędkiego osuszenia i ogrzania swoich narzędzi i innych przedmiotów i do utrzymania ich w tym stanie.

Stół do suszenia i ogrzewania oraz piec z wodą gorącą. Następująca figura przedstawia prostą, taną i zdaniem autora bardzo stosowną formę stołu do suszenia i ogrzewania.

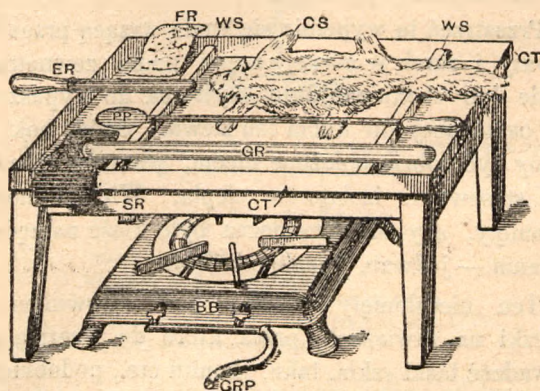


Fig. 279. Stół do suszenia i ogrzewania przyrządów, używanych do elektryczności przez tarcie.

Objaśnienie figury:

- BB — piecyk gazowy
- GRP — rurka kauczukowa prowadząca do rury gazowej.
- CT — płyta miedziana
- WS — podkłady drewniane
- GR — rurka szklana
- SR — materya jedwabna do pocierania
- ER — laska gutaperkowa
- FR — sukno do pocierania
- CS — futro kota
- PP — krążek do sprawdzania.

W razie potrzeby można go zaopatrzyć w daszek półkulisty lub płaski z blachy białej lub miedzianej, na którym można kłaść kawałki flaneli lub futra, bez obawy, że się spalą. Inny wielce łatwy sposób utrzymywania pomniejszych przedmiotów w stanie suchym i w cieple zasada się na wstawieniu ich do poziomego piecyka z wodą gorącą, który składa się z prostokątnego $\square$ pudła z cienkiej blachy miedzianej, otoczonego innym, większym w odległości 2,5 do 5 cm od tamtego.

Przestrzeń ta wypełnia się wodą wrzącą przez kanał lejkowaty i rurek w górnej części pudła zewnętrznego. W dnie lub zboku znajduje się kurek do wypuszczania wody ostudzonej do kubła lub zlewu. Spód, boki i dno powinny być dobrze obłożone filcem, warstwą azbestu lub innym stosownym izolatorem ciepła. Wierzch może być nieosłonięty, aby na nim można było kłaść narzędzia do pocierania — jedwab, flanelę lub futra.

Ten nieosłonięty wierzch pudła powinien mieć drzwiczki na zawiasach, przez które do wnętrza można wprowadzać laski szkła, laku, ebonitu etc., podobnie podstawy izolujące i układać na drewnianych wałkach pod-

kładach. Ciepło wody gorącej niełatwo może uchodzić przez osłonięte płaszczem dno, boki i końce, z łatwością zaś przedostaje się przez wewnętrzne ścianki pudła miedzianego; w ten sposób powietrze oraz rozmaite wprowadzone przedmioty pozostają suche i ciepłe przez czas potrzebny do wykonania doświadczeń. Przedostaje się też ciepło przez wierzch pudła i utrzymuje w stanie suchym narzędzia do pocierania.

Odpychanie elektryczne. Kiedy pokazywaliśmy przyciąganie pomiędzy potartą laską szklaną a lekkimi ciałami położonemi na stole, widzieliśmy, iż te ostatnie, skoro tylko dotknęły się laski szklanej (i przez to naładowały

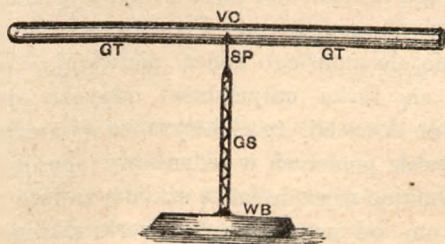


Fig. 280. Rurka szklana izolowana, wahająca się w płaszczyźnie poziomej.

Objaśnienie figury:

- GT — rurka szklana
- VC — zagłębienie w kształcie $\wedge$
- SP — ostrze stalowe albo punkt oparcia
- GS — słupek szklany (w celu izolowania GT)
- WB — podstawa drewniana.

się jej elektrycznością), odpychane były i odskakiwały od niej. Dowodzi to, że ciała naładowane jednakowo odpy-

chają się. Otóż działanie to lepiej daje się okazać uczniom w sposób następujący.

Doświadczenie II, 1. *Kawałki szkła w jednakowy sposób potarte odpychają się.* Bierzemy starannie oczyszczoną, suchą i wygrzaną rurkę szklaną zatopioną z obu końców i w środku posiadającą zagłębienie kształtu  tak, że całość może się wahać w położeniu poziomym jak na fig. 280 *). Rurka obraca się swobodnie na ostrzu stalowem już pod wpływem nader nieznaczej siły. Pocieramy teraz rurkę szklaną od środka do jej zatopionego końca jedwabnym pocieraczem naamalgowanym, trzymając drugi koniec w drugiej ręce. Osadzamy rurkę na ostrzu, poczem drugą laskę szkła, wysuszoną i wygrzaną, pocieramy tym samym narzędziem. Przysuwamy potarty koniec tej ostatniej do potartego końca pierwszej. Widzimy, iż wahająca się rurka natychmiast odpycha się od laski szklanej, co dowodzi, że elektryzacye wytworzone na kawałkach szkła potartych w jednakowy sposób odpychają się. Trzymając zręcznie laskę szklaną zawsze w odległości 3 do 5 cm od usuwającej się rurki szklanej, możemy nadać tej ostatniej nader szybki obrót.

2. *Kawałki ebonitu, laku lub smoły potarte w sposób jednakowy odpychają się.* Weźmy laskę ebonitu opatrzoną w kołpaczek  ze szkła i umieścmy ją na izolowanem cienkiem ostrzu stalowem zupełnie w taki sposób jak

*) Jak się robią te oscylujące rurki poziome i podstawy do nich, oraz wahające się laski ebonitowe i inne patrz w dodatku do cz. III.

na figurze ostatniej. *) Jeden koniec tej laski pocieramy kawałkiem flaneli lub futrem kota, poczem laskę osadzamy na statywie. Jeżeli teraz potrzebujemy drugi koniec innej

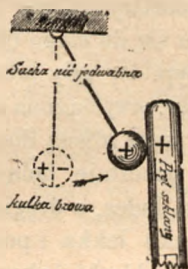


Fig. 281. Przyciąganie przed dotknięciem.

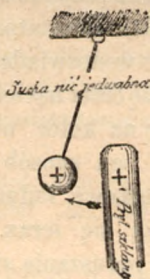


Fig. 282. Odpychanie po dotknięciu.

laski ebonitowej tym samym pocieraczem i koniec ten zbliżymy do końca potartego laski poziomej, zauważymy, iż ta ostatnia odsuwa się. A zatem pomiędzy obydwoima ładunkami elektrycznymi zachodzi odpychanie.

3. Każde ciało lekkie, zawieszone oddzielnie i naładowane przez ciało naelektryzowane, doznaje od niego odpy-

*) Laski laku i smoły bardzo łatwo się łamią, skoro w nich osadzone są szklane kołpaczki Λ , wolimy przeto zawieszając je w strzemiączku podwójnym z drutu miedzianego na nici jedwabnej w ten sam sposób, co hartowaną sztabę stalową na fig. 4, str. 7, t. I. Jeszcze lepiej jest zawieszając je na dwóch niciach równoległych, aby sztaby zajęły określony stan równowagi (Zawieszanie dwunitkowe).

chania. Weźmy jakiegokolwiek ciało lekkie np. kulkę, z rdzenia bżowego lub wydmuchane jajko wróble i zawieśmy je zapomocą cienkiej nici jedwabnej *) na haku lub na statywie.

Teraz przybliżmy ciało naelektryzowane do kulki. Z początku ta ostatnia przyciąga się do niego (jak to widzieliśmy w doświadczeniach I wyp. 4); gdy potem kulka dotknie się ciała naelektryzowanego, przyciągana elektryczność (—) na kulce niweczy się przez równą ilość (+) na lasce; w ten sposób na kulce pozostaje ładunek (+). Oba jednakowe ładunki (jeden na kulce, a drugi na lasce) odpychają się teraz. Kulka, jako lekka i posiadająca swobodę poruszania się, odskakuje od laski, i skoro tę ostatnią będziemy posuwali za kulką, będzie się trzymać od laski w przyzwoitej odległości, dopóki się jej ładunek nie rozproszy (skutkiem uchodzenia w ziemię); wtedy nanowo jest przyciągniętą, naładowaną i odepchniętą, jak poprzednio.

Pytania do wykładu XXVII.

1. Zkąd pochodzi wyraz elektryczność? Opisz ciało, na którym obserwowano pierwsze działania elektryczne, tudzież opisz sposób wzbudzenia go.

*) W tym wypadku używamy nici jedwabnej, bo jedwab jest dobrym izolatorem i nie pozwala ładunkowi udzielonemu kuli szybko uchodzić w ziemię. Okoliczność ta zrozumiała jest dla uczniów, którzy pamiętają treść wykładu XXI.

2. Co rozumiesz przez nazwy „tarcie” i „elektryczność przez tarcie”? W jakich formach ukazuje się na nowo praca zużyta w czasie pocierania dwu ciał jednakowych i niejednakowych?

3. Masz silnie naelektryzować rurkę szklaną; jak sobie postąpisz? Chcesz mocno naelektryzować rurkę gutaperkową; jak sobie postąpisz?

4. Przypuśćmy, że masz wytworzyć elektryczność statyczną i potwierdzić jej obecność; jak to wykonasz?

5. Jak można okazać, iż ciało nienaelektryzowane przyciągane bywa przez naelektryzowane?

6. Z czego się składa amalgamat, którym pokrywane są jedwabne narzędzia do pocierania? Jak się to robi i stosuje?

7. Sztabkę siarki potarto flanelą, potem w strzemiączku zawieszono na nici. Objaśnij zachowanie się siarki, skoro do niej zbliżymy rękę.

8. Arkusz suchego papieru, potarty gumą do wycierania na wygrzanej desce, elektryzuje się. Jak tego dowieść?

9. Jakie jest wzajemne działanie dwóch lasek szklanych naelektryzowanych? Jakie jest działanie dwóch rurek gutaperkowych naelektryzowanych?

10. Arkusz papieru dobrze wysuszony i potarty suchą szczotką mocno przylega do ściany pokoju. W położeniu tem pozostaje on dłużej, gdy ściana i powietrze są suche, niż gdy są wilgotne. Objaśnij przyczynę tej różnicy.

11. Cemu w czasie wilgotnym maszyna do elektryzowania działa niedobrze?

12. Co należy uczynić, aby przyrządy służące do otrzymywania elektryczności przez tarcie były utrzymywane w stanie suchym i w gotowości do działania, chociaż powietrze jest wilgotne.

13. Laska laku została potarta suchą flanelą i trzymana

nad kulką bżową, położoną na stole. Kulka podnosi się ku lakowi, poczem odskakuje od niego. Dlaczego się ona wznosi i dlaczego odskakuje?

14. Słyszemy nieraz, że włosy naszczotkowane w suchem powietrzu wydają szelest. Zkąd to pochodzi i dlaczego zjawisko to występuje tylko w pogodzie suchej?

WYKŁAD XXVIII.

Treść: Ogólne objaśnienie wyrażeń „dodatni” i „odjemny”. — Elektryczność dodatnia i odjemna. — Prawo pierwsze: jednoimienne ładunki odpychają się, różnoimienne przyciągają się. — Elektroskop o listkach złotych. — Użytek elektroskopu o listkach złotych. — Jak się wykrywa ładunek ciała zapomocą elektroskopu o listkach złotych. — Jak się przekonać zapomocą elektroskopu o listkach złotych, czy ciało posiada ładunek dodatni lub odjemny. — Pytania.

Ogólne objaśnienie wyrażeń „dodatni” i „odjemny”. Na ostatnim wykładzie dowiedliśmy doświadczalnie:

Po-pierwsze, że elektryzacja pewnego ciała przez tarcie pomiędzy nim a ciałem obojętnym lub nienaelektryzowanym wywoływała przyciąganie.

Po-wtóre, dwa zupełnie jednakowe ciała, skoro zostaną potarte przez to samo narzędzie albo narzędzia zupełnie podobne, odpychają się.

Po-trzecie, ciała naelektryzowane od tego samego ładunku odpychają się.

Obecnie mamy dowieść, że elektryzacja bywa dwójaka: dodatnia (dla której istnieje znak odpowiedni więcej $+$) i odjemna (oznaczona znakiem mniej $-$). Uczeń który poznał część II, obznajmiony jest z tymi znakami. Nazywa „dodatni” oraz znak $+$ będą odtąd przez nas stosowane do wskazywania potencjału lub napięcia wyższego lub większego od potencjału ziemi (który uważamy za 0); „odjemny” zaś i znak $-$ stosowane będą do oznaczania potencjału lub napięcia niższego lub mniejszego od potencjału lub napięcia ziemi.

Dla takich źródeł energii elektrycznej, jak bateria woltaiczna lub maszyna magnetoelektryczna, dowiedliśmy, że w obwodzie ich zamkniętym lub dopełnionym, przepływa prąd od końca do końca.

Zrobiliśmy przytem dowolne przypuszczenie, iż prąd przebiega od bieguna dodatniego czyli od miejsca o wyższym potencyale do bieguna ujemnego czyli do miejsca o niższym potencyale. Chociaż w tej części dzieła będziemy mieli do czynienia przeważnie z ładunkami elektrycznymi w stanie spoczynku czyli statycznymi, trzymać się jednak będziemy mocno tych umówionych i zresztą zupełnie dowolnych oznaczeń „dodatni” i „ujemny”, zarówno we względzie potencjału jak kierunku prądu, jeżeli dane ciała zostaną połączone z ciałami odmiennie naładowanymi, lub z ziemią.

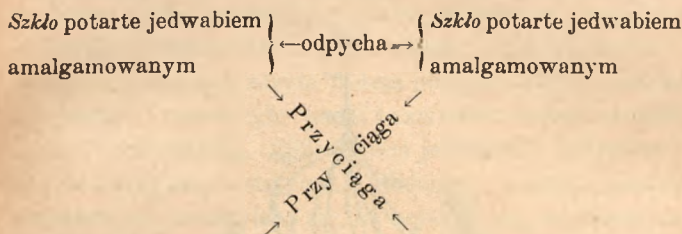
Elektryzacya dodatnia i ujemna. Doświadczenie III.

1) zupełnie jak w doświadczeniach II wyp. (1) i (2) i korzystając z tych samych przyrządów, potrzymajmy dwa kawałki szkła jedwabiem amalgamowanym, a znajdziemy po dawnemu, że się wzajemnie odpychają. Potrzymajmy dwa kawałki ebonitu flanelą, a znajdziemy, że się wzajemnie odpychają. Potrzymajmy laskę szklaną, zrównoważmy ją na ostrzu i przybliżmy do niej świeżo potartą laskę ebonitową; widzimy, iż pomiędzy obojgiem zachodzi przyciąganie. Potrzymajmy teraz inną laskę ebonitową, osadźmy na ostrzu i przybliżmy do niej świeżo potartą laskę szklaną a zobaczymy potężne przyciąganie. Doświadczenia te wskazują, że istnieją dwa rodzaje elektryzacyi:

I) *Elektryzacya szkła potartego jedwabiem amalgamowanym.*

II) Elektryzacja ebonitu potartego flanelą.

Dalej doświadczenia te dowodzą, że:

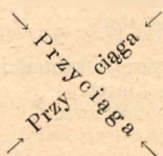


Ebonit potarty flanelą $\leftarrow$ odpycha $\rightarrow$ Ebonit potarty flanelą

Utarty to już dzisiaj zwyczaj, że fizycy i elektrycy nazywają elektryczność, powstającą w szkłe potartym jedwabiem naamalgamowanym, dodatnią (albo plus +), elektryczność zaś ebonitu potartego flanelą elektrycznością odjemną (albo minus —)*). Wyniki poprzednich doświadczeń dają się przeto wyrazić w sposób następujący:

Prawo pierwsze: Ładunki jednoimiennie odpychają się, ładunki różnoimiennie przyciągają się.

Dodatnia elektryczność $\leftarrow$ odpycha $\rightarrow$ dodatnią elektryczność



Odjemna elektryczność $\leftarrow$ odpycha $\rightarrow$ odjemną elektryczność

2. Dowiedzmy teraz praw powyższych zapomocą innego bardzo prostego doświadczenia. Weźmy kartkę

*) Później (na kursie wyższym) z doświadczeń z elektroskopem kondensatorem o złotych listkach i z czułym elektro-

najcieńszego, suchego i wygrzanego papieru brunatnego, albo jeszcze lepiej papieru jedwabnego, przyklejmy do pa-

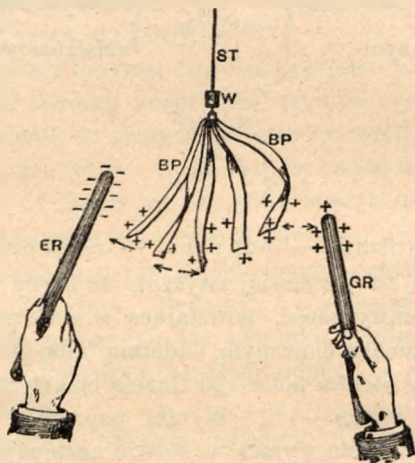


Fig. 283. Ładunki jednoimienne odpychają się, różnoimienne przyciągają się.

Objaśnienie figury.

- ST — nić jedwabna
- W — ciężar
- BP — cienki papier brunatny lub jedwabny
- GR — laska szklana
- ER — laska ebonitowa.

metrem dowiemy się, iż elektryzacja *szkła* potartego jedwabiem amalgamowanym co do rodzaju jest *identyczną* z tą, którą otrzymujemy z wolnego *bieguna miedzianego* ogniwa lub baterji Daniella, który przyzwyczailiśmy się nazywać *biegunem dodatnim*, i że elektryzacja *ebonitu* potartego flanelą co do rodzaju *identyczną* jest z tą, którą otrzymujemy z wolnego *bieguna cynkowego*, zwanego *biegunem odjemnym* baterji.

pieru nie jedwabną wraz z małym ciężarkiem i naelektryzujemy tę ostatnią, pocierając szczotką od sukien lub kałkiem czystej czarnej gумы do wycierania w sposób już wyłożony i objaśniony (patrz wykład XXVII dośw. 1 wyp. 6); następnie ostrym nożem potnijmy szybko papier na wąskie i równoległe paski i zawieśmy nakształt kiści (patrz załączoną fig. 283) na nici jedwabnej, przyczepionej do haczyka lub statywy. Widzimy, iż końce pasków papierowych rozchylają się, bo naładowane są elektrycznością jednego rodzaju. Teraz przybliżamy do pasków najpierw laskę szklaną potartą jedwabiem amalgamowanym: papier odpycha się.

Wnosimy ztąd niezwłocznie, iż papier naładowany jest dodatnio, wiemy bowiem, że laska szklana ładuje się dodatnio.

Po-wtóre, zbliżamy do pasków laskę ebonitową potartą flanelą: papier mocno przyciąga do siebie ładunek z ebonitu i przyciągany jest przezeń. Potwierdza to do pewnego stopnia naszą próbę poprzednią oraz wniosek, że paski papieru naładowane są dodatnio, wiemy bowiem, że ebonit ładuje się elektrycznością odjemną. Jednakże wynik ten sam przez się nie miałby żadnej siły przekonywającej, bo jak to wkrótce zobaczymy (a co już nieraz poprzednio widzieliśmy) pomiędzy każdym ciałem naładowanym jednym z tych rodzajów elektryczności a innym ciałem nienaładowanym czyli obojętnym zachodzi przyciąganie, chociaż w mniejszym stopniu, niż pomiędzy tym samym naładowanym ciałem a innym, które naładowane jest jednakową ilością elektryczności przeciwnej.

Po-trzecie, do skrawków papieru zbliżamy ściśniętą pięść lub inny okrągły przewodnik trzymany w ręku. Widzimy, iż paski przytem są przyciągane.

Dokładną przyczynę przyciągania w ostatnim wypadku poznamy później, gdy dojdziemy do indukcji, tymczasem okoliczność ta skłania nas do ostrzeżenia ucznia aby *nigdy nie polegał wyłącznie na przyciąganiu*, jeżeli chce sprawdzić, jakim rodzajem elektryczności ciało może być naładowane*).

Obecnie opiszemy prosty i pożyteczny przyrząd, który nam pozwoli wykryć, czy ciało jest naładowane lub nie, i skoro jest naelektryzowane, czy ładunek jest dodatni lub ujemny.

Elektroskop o listkach złotych. Każde urządzenie, służące do wykrywania obecności ładunku elektrycznego, zowie się elektroskopem; wyraz ten pochodzi od dwu greckich wyrazów $\eta' \lambda \epsilon \chi \tau \varsigma \omicron \nu$ (electron) = bursztyn i $\sigma \kappa \omicron \pi \epsilon \iota \nu$ (skopein) = patrzeć. Wahadło z rdzenia bżowego, listwa, wisząca poziomo, podobnież laska szklana lub ebo-

*) Tu uczeń niechaj sobie uprzytomni, że gdy mowa była o sprawdzaniu magnesowania i biegunowości magnetycznej (patrz wykład IV, str. 45), ostrzegaliśmy go, by nigdy nie polegał na samem przyciąganiu, jeśli chce dowieść, iż ciało jest stale namagnesowane; wtedy też ustaliliśmy prawo, że zawsze należy otrzymać *odpychanie* pomiędzy jednym biegunem igły sprawdzającej a biegunem innego magnesu, nim zdobędziemy pewność, że biegun badanego magnesu jest północny lub południowy. Ściśle to samo stosuje się do ładunków elektrycznych. Uczeń *powinien* otrzymać pewną oznakę odpychania pomiędzy wiadomym ładunkiem a ładunkiem badanym, zanim przyjdzie do określonego wniosku co do rodzaju badanego ładunku.

nitowa i zawieszane skrawki papieru użyte do poprzedniego szeregu doświadczeń — wszystko to są elektroskopy. Pierwszy elektroskop zbudowany został około r. 1600 przez dr. Gilbert'a; było to proste, leciuchne źdźbło słomy, zawieszane na cienkim ostrzu. Atoli do niektórych naszych doświadczeń wymagamy przyrządów daleko czulszych i pewniejszych w działaniu od tamtych.

Fig. 284 wyobraża prostą formę elektreskopu o listkach złotych, która, przy dostatecznej wielkości, pozwoli każdemu z licznego grona uczniów równocześnie zauważyć doświadczenie wykonane na stole wykładowym *).

Jak to łatwo zauważyć z figury 284 i opisu części, elektroskop ten o listkach złotych składa się z suchej i przezroczystej butelki szklanej GJ kształtu kuli zakończonej szeroką otwartą szyją i utrzymywanej na drewnianej podstawie WB. W butelce osadzony jest pręt mosiężny R, u dołu przy C rozplaszczony w kształcie dłutka; z obu stron C przyklejone są gumą dwa listki złote L_1 i L_2 . Listki zwieszają się pionowo i równoległe do siebie w stanie obojętnym czyli nienaładowanym, rozchylają się jednak (na podobieństwo odwróconej litery V), skoro się im udziela ładunku elektrycznego, dodatniego lub ujemnego. Ładunek dostaje się do listków albo za pośrednictwem zetknięcia krążka metalowego D z ciałem naładowanym, albo przez indukcję pomiędzy ciałem a krążkiem, który,

*) O tem, jak się robi ta duża forma elektroskopu o listkach złotych, patrz w dodatku do części 3. Dwa duże przyrządy tej formy powinny stale znajdować się na stole doświadczalnym podczas doświadczeń z elektrycznością przez tarcie.

skutkiem przyśrubowania do pręta R, znajduje się w doskonałym metalicznym połączeniu z listkami złota. Krążek, pręt i listki starannie są odosobnione od szyjki butelki zapomocą długiego, podwójnie stożkowego korka

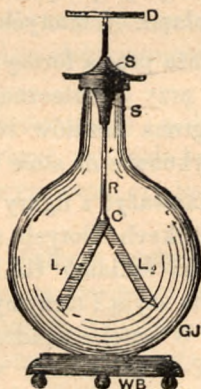


Fig. 284. Elektroskop o listkach złotych do celów wykładowych.

Objaśnienie figury

- D — krążek mosiężny
- S — zatyczka szellakowa
- R — pręt mosiężny
- C — szeroko rozwarty koniec tego ostatniego
- L_1, L_2 — listki złote
- GJ — butelka szklana
- WB — podstawa drewniana.

z czystego szellaku, który zarazem służy do umocowania sztabki metalowej w korku drewnianym. Gdy korek został całkowicie pokryty szellakiem i uszczelniony kitem od

powietrza w szyjce butelki (po usunięciu uprzedniem wszelkiej wilgoci z butelki zapomocą powolnego rozgrzewania nad płomieniem), zupełnie zbytecznem okaże się wprowadzenie ciał chłonących wilgoć*) w celu otrzymania doskonałej izolacyi. Przy starannem uszykowaniu i używaniu tej formy przyrządu utrzymuje ona ładunek przez kilka godzin, nie okazując wyraźnego zmniejszania; a nawet, gdyby ten przyrząd po dłuższym nieużywaniu okazał pewną dążność do tracenia ładunku, to można izolację nanowo przywrócić, zdrapawszy wpierv starannie wystający stożek szellaku ostrym nożem lub szkłem.

Zastosowania elektroskopu o listkach złotych. Nieraz jeszcze znajdziemy sposobność posługiwania się tym przyrządem.

Po-pierwsze — gdy chodzi o wykrycie, czy ciało jest naładowane elektrycznością;

Po-wtóre — o rozstrzygnięcie, czy ładunek jest dodatni lub ujemny;

Po-trzecie — o sprawdzenie, czy ciało jest przewodnikiem lub izolatorem;

Po-czwarte — o określenie *gęstości elektrycznej* czyli ilości elektryczności na jednostce naładowanej powierzchni;

Po-piąte — o oznaczenie zgruba różnicy potencyału (R. P.) pomiędzy dwoma naładowanemi ciałami lub ciałem naładowanem a ziemią.

Jak znaleźć zapomocą elektroskopu o listkach złotych, czy ciało jest naładowane. Możemy użyć jednego z trzech

*) Np. pumeksu nasyconego mocnym kwasem siarczanym lub kawałków stopionego chlorku wapnia.

następujących sposobów stosownie do tego, który okaże się dogodniejszym.



Fig. 285. Rozmaite formy krążków próbnych.

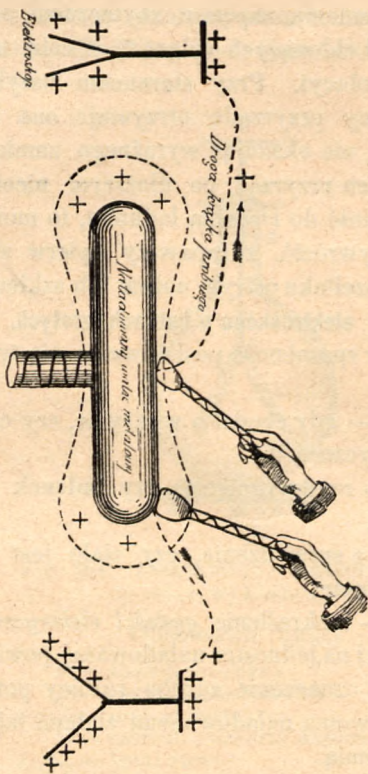


Fig. 286. Badanie ładunków zapomocą krążka próbnego i elektroskopu o listkach złotych.

Doświadczenie IV. 1. Przez bezpośrednie zetknięcie ciała z krążkiem górnym lub z gałką elektroskopu*).

*) Używając tej metody, należy zwracać szczególną uwagę na to, by ciała nie były zaszybko przysuwane do kulki

Skoro zetkniemy ciała nie potarte z krążkiem D, a żadnego rozchylenia listków nie zauważymy, możemy być pewni, że ciało jest nienaładowane*). Skoro zetkniemy z krążkiem D jedną z potartych lasek, z którymi dotąd robiliśmy doświadczenia, lub jakiegokolwiek ciało izolowane a listki rozejdą się choćby niewiele, wnosimy ztąd, że ciało jest naładowane.

2. *Przez przenoszenie etc. zapomocą krążka próbnego.**)*

Weźmy krążek próbny, który poprostu jest małym krążkiem metalowym o brzegach zaokrąglonych lub w pewnych razach małą kulką metalową (przymocowaną do długiej rączki izolującej z ebonitu lub szkła lakierowanego) i zetknijmy część metalową krążka z ciałem badanym tak, żeby pierwszy mógł się naładować do tego samego potencjału, co ciało (jeżeli to ostatnie posiada ładunek). Wtedy przysuwamy krążek ten do krążka elektroskopu w sposób wskazany na fig. 286 ale bez zetknięcia uprzedniego z innym ciałem. Jeżeli listki rozejdą się, tedy ciało było naładowane, jeżeli nie, — znajdowało się w stanie obojętnym***).

elektroskopu; gdy bowiem są one mocno naładowane, listki tak nagle i szeroko się rozchodzą, iż odrywają się od pręta mosiężnego.

*) Elektroskop powinien być koniecznie utrzymywany w jak najlepszym stanie, aby uniknąć błędów spowodowanych przez uchodzenie elektryczności do ziemi.

**) Patrz w dodatku „Jak się robi krążek próbny.”

***) Zwracamy uwagę ucznia na linie faliste wzdłuż rączek rozmaitych krążków próbnych tudzież wzdłuż podstawy naładowanego cylindra metalowego na powyższych figurach. Jest-to dogodny sposób zaznaczania, iż laska, rączka lub pod-

3. *Przez indukcję.* Indukcya elektrostatyczna i jej działania znajdują szczegółowe wyjaśnienie w jednym z późniejszych wykładów; tymczasem uczeń poprzestać musi na wyjaśnieniu, że jeżeli jakiegokolwiek ciało trzymane będzie wprost nad kulką nienaładowanego elektroskopu i stopniowo do niej zbliżane, to w trakcie tego dostrzeże on, iż listki powoli będą się rozchodziły; ztąd wnosić można, iż ciało jest naładowane. Jestto najprostsza i najszybsza droga wykrywania ładunku ciała. Przedstawia ona dalej tę korzyść, iż ciało naładowanemu nie odbiera się najmniejszej części ładunku, a po odsunięciu ciała elektroskop pozostaje obojętny.

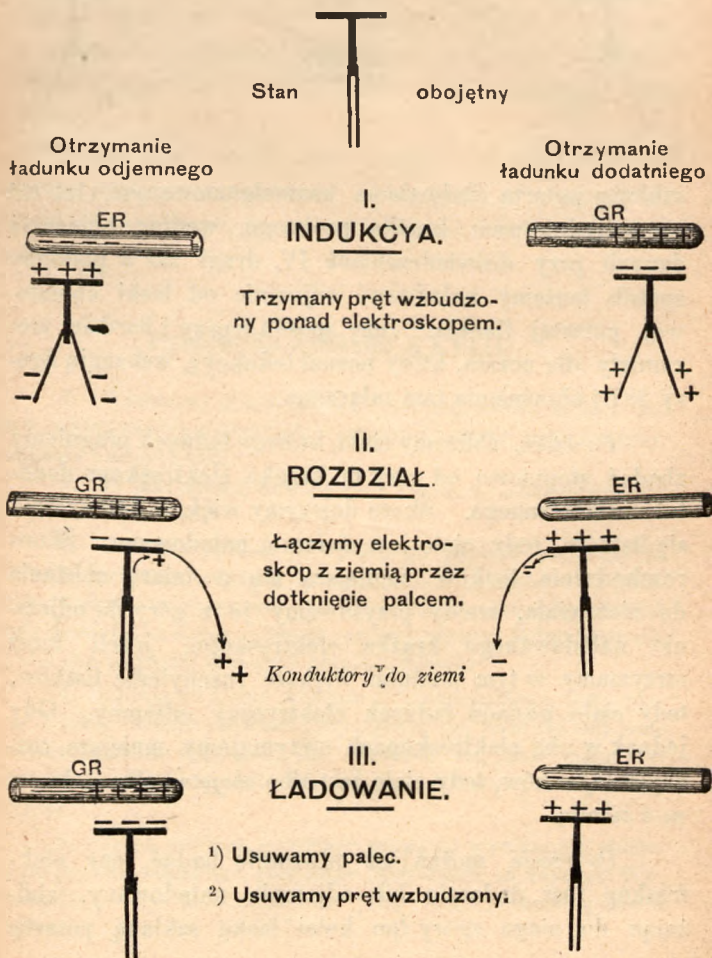
Jak rostrzygnąć zapomocą elektroskopu o listkach złotych, czy ciało jest naładowane dodatnio, czy odjemnie.

Po-pierwsze, ładujemy jeden elektroskop dodatnio, drugi odjemnie*). Jeden elektroskop może być naładowany dodatnio przez bezpośrednie zetknięcie z laską

stawa są izolatorami, i tego sposobu trzymać się będziemy w ciągu całej tej części dzieła. Może on również zauważyć, że nie rysujemy butelki szklanej i podstawy elektroskopu i przedstawiamy wyłącznie na umówionym sposobie oznaczenia przyrządu $\overline{\Lambda}$. Podobnie uczniowie w odpowiedziach piśmiennych na pytania zadawane mogą z tych sposobów oznaczania korzystać, nie dodając wyrazów objaśniających „izolator” lub „elektroskop.”

*) By doświadczenie to można było szybko i z powodzeniem wykonać, wobec dużej klasy, lepiej używać dwóch elektroskopów, ustawionych na stole doświadczalnym w odległości 1 m od siebie tak, żeby uczniowie z łatwością i jednocześnie lub z bardzo małą stratą czasu mogli obserwować rozmaite działania.

Fig. 287. Jak naładować elektroskop o listkach złotych odjemnie lub dodatnio przez indukcję i rozdział.





A — ładunek.

IV.

WYNIK.



A + ładunek.

szklaną potartą jedwabiem naamalgamowanym, lub też za pośrednictwem krążka próbnego, według objaśnień danych przy doświadczeniach IV, drugi zaś w podobny sposób możemy naładować odjemnie od laski ebonitowej, potartej flanelą. Inny sposób lepszy i bardziej zrozumiały dla ucznia, który poznał indukcję, wskazują figury 287 i objaśnienia tam załączone.

Po-wtóre, zbliżamy ciało, którego ładunek pragniemy zbadać stopniowo od góry do krążka elektroskopu dodatnio naładowanego. Skoro dojrzymy większe rozchylenie się listków, tedy ciało jest *dodatnio* naładowane. Skoro rozchodzenie listków zmniejsza się w miarę zbliżania do nich ciała, wtedy przysuwamy je z góry do odjemnie naładowanego krążka elektroskopu; jeżeli teraz otrzymamy w tym ostatnim większe rozchylenie listków, tedy ciało posiada ładunek elektryczny odjemny. Gdy jednak w obu elektroskopach otrzymujemy mniejsze rozchylenie listków, tedy ciało jest albo *obojętne* albo *połączone z ziemią*.

Po-trzecie, można też odwrotnie badać, czy elektroskop jest dodatnio lub odjemnie naładowany, zbliżając do niego z góry po kolei laskę szklaną potartą

iedwabiem amalgamowanym i laskę ebonitową potartą flanelą. Skoro za zbliżeniem laski szklanej wywołujemy większe rozchylenie, elektroskop jest *dodatnio* naładowany; lecz jeżeli większe rozchylenie powstaje za zbliżeniem laski ebonitowej, tedy elektroskop naładowany jest *odjemnie*.

Przestroga. Nigdy nie polegaj na schodzeniu się listków, jeżeli masz przekonać się w sposób stanowczy o rodzaju elektryczności, jaką jakiekolwiek ciało jest naładowane.

Pytania do wykładu XXVIII.

1. Własnymi słowy objaśnij, jak pojmować należy nazwy „elektryzacja dodatnia” i „odjemna,” i ustal prawo o przyciąganiu i odpychaniu.

2. W jaki sposób dowiedziesz klasie, że istnieją dwa rodzaje elektryczności?

3. Kartkę wygrzanego ciemnego papieru położono na stole i potarto mocno gumą do wycierania. Odcięto dwa paski tego papieru i umieszczono tuż obok siebie równolegle. Jak będą działały na siebie. Pręcik szklany potarty jedwabiem odpycha oba te paski; jaki ztąd płynnie wniosek?

4. Żądają od ciebie dowodu doświadczalnego tego prawa, iż ciała naelektryzowane przyciągają się, ciała zaś podobnie naelektryzowane odpychają się. Powiedz mi, jakie ciała wybierzesz i w jaki sposób ich użyjesz, by otrzymać żądany wynik?

5. Pasek papieru, potartego gumą do wycierania, zbliżono do pręcika szklanego, potartego jedwabiem; co nastąpi? Wyprowadź z tego doświadczenia, jaką elektryczność posiada papier.

6. Dlaczego, gdy chcesz znaleźć, czy ciało jest naelektryzowane, z uwzględnieniem jego działania na kulkę białą, zawieszoną na nici jedwabnej, odpychanie kulki jest pewniejszym dowodem elektryzacji ciała aniżeli przyciąganie?

7. Przypuśćmy, iż chcę ażebyś sprawdził jaką elektrycznością naładowany jest izolator; jak sobie postąpisz?

8. Pewne ciało naelektryzowane zostało przez potarcie chustką jedwabną. Jak określisz, czy elektryzacja jest dodatnia, czy ujemna?

9. Skoro kawałek laku i kawałek flaneli potarto o siebie, jedno elektryzuje się dodatnio, drugie ujemnie. Jeśli potrzebujemy o siebie kawałek papieru brunatnego i kawałek kauczuku, jeden elektryzuje się dodatnio, drugi ujemnie. Jak się przekonasz, które z tych czterech rzeczy — lak, flanela, papier i kauczuk posiadają jednakowy stan elektryczny?

10. Izolowany przewodnik A zbliżony został do krążka elektroskopu o listkach złotych, naładowanego dodatnio. Wskaż i objaśnij, co się stanie: 1) gdy A nie jest naelektryzowany; 2) posiada ładunek dodatni; 3) gdy posiada ładunek ujemny.

11. Dwa druty miedziane, z których jeden połączony jest z cynkiem, drugi z platyną baterii voltaicznej, lecz nie połączone ze sobą, zbliżone zostały do kawałka laku, który został potarty flanelą i wtedy starannie zrównoważony na cienkim ostrzu. Czy druty w jakikolwiekbyś sposób będą się różniły pod względem działania na lak? Jeśli tak, to w jaki sposób i dlaczego?

12. Izolowany i dodatnio naelektryzowany listek złoty wisi na pół drogi pomiędzy dwiema pionowymi, izolowanymi i nie-naelektryzowanymi blachami miedzianymi A i B, z których do każdej przytwierdzony jest drut miedziany. Opisz ruchy listka złotego w tym wypadku, gdy druty, przyczepione do A i B, zostaną odpowiednio zetknięte z blachami cynkową i miedzianą, zanurzonymi częściowo w naczyniu z kwasem rozcieńczonym.

13. Naszkicuj i opisz zapomocą legendy zwykły elektroskop o listkach złotych. Objasnij jak go użyjesz, aby się przekonać, czy ładunek jest dodatni lub ujemny? Dlaczego odpychanie jest jedynym pewnym badaniem elektryzacji?

14. Masz ciało naładowane dodatnio; objasnij, jak możesz naładować od niego elektroskop elektrycznością dodatnią lub ujemną?

WYKŁAD XXIX.

Treść: Przewodniki albo konduktory i nieprzewodniki albo izolatory. — Jak dowieść zapomocą elektroskopu o listkach złotych, czy ciało jest przewodnikiem lub izolatorem. — Elektryzacja przewodnika przez pocieranie. — Definicje: przewodnik, izolator, przewodnik niedoskonały, przewodzenie, izolacja, konwekcyja, uciekanie*), przewodnictwo. — Pytanie próbne i odpowiedź. — Pytania.

Przewodniki czyli konduktory i nieprzewodniki czyli izolatory. Uczeń, który przeczytał część II i uczęszczał na doświadczenia laboratoryjne i wykładowe z prądami, pochodzącymi ze zwykłych bateryj i dynamomaszyn, musi teraz zmienić w pewnym stopniu poglądy swoje na istotę wystarczającego izolatora, jeżeli zająć się ma doświadczalnie elektrycznością statyczną. Naprz. mógł on zauważyć, że podstawa lub podkład ze zwyczajnego drzewa były tam wystarczającym izolatorem, by zapobiedz wszelkiemu wyraźnemu uchodzeniu prądu z końca jednego drutu lub przyrządu gdy napięcie, elektryczne nie przekraczało, dajmy na to, 100 v.

Taka podstawa nie byłaby wcale przydatną do utrzymania ładunku pochodzącego z laski szklanej lub ebonitowej, gdzie E. M. S. może przekraczać 10000 V. Jeżeli przejdziemy do rozpatrywania maszyn przez tarcie albo influencyjnych, które wytwarzają napięcia od 50000 do 100000 V, przyczem iskry długie na 10 i więcej cen-

*) Po angielsku creeping — dosłownie pełznięcie, uchodzenie, uciekanie (Uw. tł.).

tymetrów przebijają suche powietrze, wybór naszych izolatorów będzie jeszcze bardziej utrudniony. Nie znamy ciała tak dobrze izolującego, któreby mogło powstrzymać na ich drodze wyładowania błyskawic, gdzie napięcie dosięgać może milionów voltów. Elektryczność, jakimikolwiek środkami się ją wydobywa, jest zawsze elektrycznością — *niczem więcej*, — zupełnie jak ciepło, które zkałkolwiekbyś pochodzi, zawsze jest ciepłem.

Zachowanie się i działania elektryczności o wysokim napięciu na materję różnią się właśnie tyleż co w cieple skutki niskich i wysokich temperatur; a zatem, mamy tu do czynienia z jakąś inną postacią zjawisk tej siły tajemniczej. Inżynierowie, którzy przyzwyczaili się do pracy z parą, wodą i powietrzem o niskiem ciśnieniu musieli nałożyć swoją praktykę, zmienić materiały i maszyny, skoro zaczęto stosować do tych zbiorników energii potencyalnej wysokie ciśnienia dzisiaj powszechnie używane. Zupełnie tak samo, elektrycy i fizycy muszą używać innych materiałów i innych form przyrządów, gdy robią doświadczenia z elektrycznością o tak wysokiem napięciu, jakie tu ma być rozpatrywane lub gdy je pragną stosować do rozmaitych celów użytecznych *).

*) Kwestya izolatorów i izolacya nabiera dzisiaj szczególnego znaczenia i wymaga wyteżonych starań od najzręczniejszych elektryków w tych razach, gdy np. chodzi o zasilanie wewnętrznych dzielnic Londynu z Deptfordu w prąd zmienny o napięciu 10000 v do oświetlenia elektrycznego i t. p. Wysoką trudność napotkano w izolowaniu elektryczności o takim napięciu w szczególnych warunkach, gdy wypada energję prowadzić przez przewodniki podziemne; zadanie to dotąd jeszcze

Po tych kilku wstępnych uwagach przystąpimy obecnie do wskazania, w jaki sposób możemy zbadać zapomocą elektroskopu o listkach złotych, czy dane ciało jest przewodnikiem lub izolatorem elektryczności o wysokiem napięciu, poczem ustalimy kilka określeń wynikających w sposób następujący z działań zaobserwowanych.

Jak zbadać zapomocą elektroskopu o listkach złotych, czy ciało jest przewodnikiem lub izolatorem. Doświadczenie V. 1. Przypuśćmy, iż wybieramy pewne ciało naprz. 3 do 4 m drutu miedzianego, nici lub wstążki jedwabnej lub zwykłego sznura konopnego. Teraz po kolei wpuszczamy jeden koniec każdego z tych ciał w mały otworek w galce lub krążku elektroskopu o złotych listkach, zaś drugi koniec obwijamy swobodnie naokoło suchej rurki szklanej lub laski ebonitowej. Pocieramy rurkę szklaną GT (podług wskazówek podanych dawniej oraz rysunku na fig. 288) amalgamowanym jedwabnym pocieraczem AS. Zaraz też dostrzegamy następstwa tego na listkach elektroskopu, jeżeli część obwiniętą puścimy swobodnie po końcu potartym pręta, odsunawszy pocieracz. W razie drutu miedzianego CN znajdujemy, iż listki rozchylają się natychmiast bardzo szeroko, wskazując tem, iż ładunek przebiegł ze szkła po drucie lub przez drut do elektroskopu, co dowodzi, że miedź jest przewodnikiem. W razie nici jedwabnej ST niema żadnego rozchylenia listków, z ką-

pomyślnie nie zostało rozwiązane. (Jednakże po wielu doniosłych próbach, dokonanych w ostatnich czasach naprz. przesyłanie energii elektrycznej z Lauffen do Frankfurtu lub świeżo z Niagary w Ameryce i wielu pomniejszych zbliża się coraz więcej do urzeczywistnienia. Uw. tł.).

wnosimy, iż jedwab jest dobrym izolatorem. Teraz zwilżamy tę nić w bardzo małym stopniu gąbką lub moką ręką od jednego końca do drugiego i pocieramy znowu pręt,

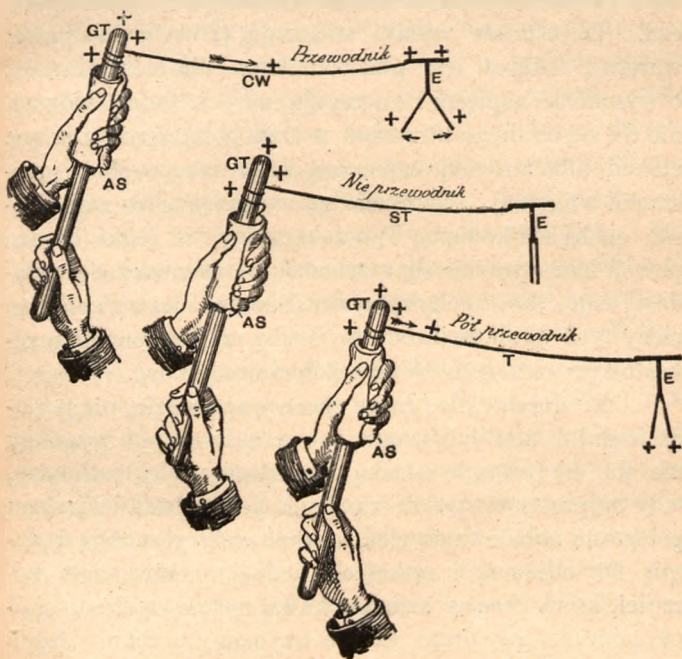


Fig. 288. Badanie za pomocą elektroskopu o listkach złotych, czy pewne ciała są przewodnikami lub izolatorami.

1. Wypadek . Przewodnik (druć miedziany CW)
2. " . Nieprzewodnik (nić jedwabna ST)
3. " . Półprzewodnik (nić konopna T).

pozwalając części obwiniętej stopniowo ześlizgiwać się kn ręce. Listki rozchodzą się, choć nie tak pośpiesznie, jak

w razie drutu miedzianego. Jeżeli teraz dotkniemy nici lewą ręką lub ujmijemy ją drugą ręką, tedy elektroskop wyładowuje się, ponieważ ładunek z elektroskopu teraz dostaje się do ziemi za pośrednictwem zwilżonej nici i ciała badacza. Te ostatnie wyniki wskazują, iż woda lub nawet warstwa wilgoci jest przewodnikiem dla elektryczności o wysokim napięciu i ostrzegają nas, iż żaden ładunek nie da się na długo utrzymać w ciele połączonym z innym ciałem albo z ziemią zapomocą najslabszego śladu przestrzeni wilgotnej. Nareszcie sprawdzamy w ten sam sposób suchą nić konopną T, a zobaczymy, iż listki bardzo powoli lecz wyraźnie się rozchodzą; powolnie też się wyładowywują, skoro połączymy drugi koniec nici z ziemią: na mocy tych wyników zaliczamy suchą nić konopną do przewodników niezupełnych albo półprzewodników.

2. Jeżeli ciało, które chcemy sprawdzić, nie posiada kształtu nici lub sznura, lub jeżeli w sposób wygodny nie da się połączyć z laską wzbudzoną i elektroskopem, tedy najprostszy sposób zbadania jego własności i stanu polega na naładowaniu elektroskopu elektrycznością dodatnią lub ujemną i zetknięciu jednego końca ciała lub części, którą chcemy badać, z kulką metalową elektroskopu, podczas gdy drugi koniec trzymamy w ręku. Jeżeli listki nie rozchodzą się wcale po wytrzymaniu ciała w tym położeniu przez minutę lub dłużej, tedy uprawnieni jesteśmy do wniosku, że jest ono dobrym izolatorem*). Gdy

*) *Przeostroga.* Na chwilę przed okazaniem jakiegokolwiek doświadczenia z elektrycznością przez tarcie, wykładający powinien zawsze sprawdzić prostym tym sposobem izolację przyrządu, którego ma użyć. Jeśli tego zaniecha, wtedy z pewno-

weźmiemy natomiast rurkę mosiężną i dotkniemy, trzymając ją w jakikolwiek bądź sposób w rękę, (za koniec lub środek), którąkolwiek jej częścią do gałki naładowanego elektroskopu, tedy wszystek ładunek *natychmiast* przejdzie do ziemi. Wynik będzie ściśle ten sam, skoro inny jaki metal lub przewodnik zostanie w ten sam sposób przyłożony do elektroskopu. Umieścimy czystą, suchą laskę szklaną w otwartym końcu rurki i, biorąc do ręki drugi koniec laski, zetkniemy jakąkolwiek część rurki mosiężnej z elektroskopem naładowanym; listki zaczną się nieco mniej rozchyłać, bo część ładunku na krążku i listkach rozpościera się teraz na większej powierzchni a m. na całej rurce; lecz jeżeli szkło jest dobre, listki zatrzymają się po pierwszym zmniejszeniu rozchodzenia. Weźmy teraz rurkę mosiężną do ręki i dotkniemy się naładowanego elektroskopu *jakąkolwiek* częścią czystej i suchej laski szklanej: nie dostrzegamy najslabszego zmniejszenia w rozchyleniu, gdyż elektryczność nie może przechodzić po powierzchni lub przez całą masę rurki szklanej z powodu dużego oporu izolacyi szkła. Dmuchnijmy na powierzchnię szkła albo przeciągnijmy na niej wążutką smugę brudną chustką lub kawałkiem drzewa, poczem przy-

ścią to lub owo doświadczenie może się nie udać. Pomochnik jego powinien również sprawdzić wszystkie przedmioty, zanim się zbiorą uczniowie, (zwłaszcza podstawy i statywy izolujące) i skoro się okażą wadliwemi, albo je usunąć, albo doprowadzić do wzorowego stanu. Niema nic przykrzejszego nad powolne uchodzenie ładunku podczas wykładu skutkiem powłoki brudu lub wilgoci, co z pewnością nie nastąpiłoby, gdyby zachowano powyższe proste ostrożności.

łóżmy szkło znowu do naładowanego elektroskoku. Różnica pomiędzy stanem terażniejszym a poprzednim natychmiast da się zauważyć po tem, że listki prędzej czy wolniej się zejdu, stosownie do ilości wilgoci, albo grubości powłoki przewodzącej na powierzchni szkła (porównaj fig. 289).



Fig. 289. Elektryzowanie ciała przewodzącego; sprawdzenie ładunku oraz izolacyi na podporze lub ręczce izolującej.

Elektryzowanie przewodników przez tarcie. Doświadczenie VI. 1. *Elektryzowanie rurki mosiężnej.* Jeżeli weźmiemy do ręki rurkę mosiężną (albo inny jaki przewodnik izolowany) i wybijemy ją futrem kota lub ogonem lisa a potem zetkniemy mosiądz z krążkiem elektroskoku, tedy nie dostrzeżemy żadnego śladu elektryczności. Weźmy ją teraz przez czystą i suchą rączkę szklaną i znowu wybijmy rurkę mosiężną futrem: gdy teraz dotkniemy elektroskoku jakąkolwiek częścią metalu, tedy elektryzacya odrazu ujawni się w znacznem rozchyleniu listków.

2. *Elektryzowanie elektroskoku szczotką z włosia wielbłądziego.* Jeżeli potrzymamy krążek elektroskoku kilkakrotnie pęzelkiem z włosia wielbłądziego, za każdym potarciem listki będą się rozchodziły coraz dalej i dalej. Sprawdźmy ładunek, a znajdziemy, że jest on odjemny. Dowodzi to, że należy tylko dobrze izolować przewodniki i wzbudzać w sposób właściwy, ażeby okazywały elektry-

zacyę. Tymczasem ten ładunek elektryczny szerzy się po całym przewodniku w sposób, który znajdzie bliższe wyjaśnienie, kiedy przejdziemy do omawiania „Rozkładu ładunków na przewodnikach.

3. *Elektryzowanie ciała ludzkiego.* Postawmy asystenta lub ucznia na dobrze izolowanym stołku i niechaj on weźmie do ręki drut przewodzący, połączony z elektroskopem o listkach złotych *).

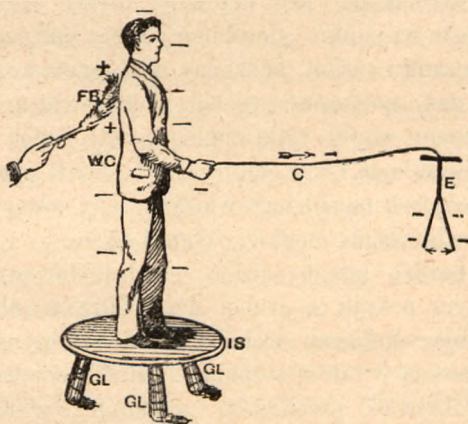


Fig. 290. Elektryzowanie ciała ludzkiego ogonem lisa.

Objaśnienie figury:

E	oznacza	Elektroskop
C	"	Przewodnik
WC	"	Ubranie wełniane
FB	"	Lisi ogon
JS	"	Stołek izolujący
GL	"	Nóżki szklane

*) Doświadczenie najlepiej się udaje, gdy surdut osoby stojącej na stołku jest wełniany, suchy.

Wówczas uderzamy go z tyłu (jak wskazuje fig. 290) lisim ogonem, futrem kocim lub innym. Po kilku uderzeniach futrem listki elektroskopu zaczynają się rozchyłać i wtedy każde następne uderzenie powiększa rozchodzenie się. Jeżeli teraz usuniemy drut przewodni, łączący rękę osoby izolowanej z krażkiem elektroskopu, za pośrednictwem rączki izolującej lub cęgów (patrz dalej fig. 300), znajdziemy wówczas po sprawdzeniu, iż ładunek pozostający w elektroskopie jest odjemny. Jeżeli człowiek ten stoi poprostu na stołku odosobnionym bez połączenia z innymi rzeczami i surdut będziemy bili przez krótki czas, kto inny zaś, połączony z ziemią, zbliży swój knykieć do nosa lub innej części ciała tamtego, tedy z nich do palca przeskakiwać będą iskry elektryczne. Jeżeli przeciągniemy dłoń napłask ponad jego włosami, tedy włosy powstaną, gdy będą długie, cienkie, czyste i suche.

W bardzo mroźny dzień, chodząc lub suwając się w ogrzonym pokoju po grubej derze futrzanej albo miękkim i grubym kobiercu wełnianym, można się naładować elektrycznością w takim stopniu, że za zbliżeniem knykcia do jakiegokolwiek przedmiotu połączonego z ziemią pomiędzy nim a ziemią przeskakuje iskra. Autor słyszał od osoby, która przebywała w suchem powietrzu Kanady, że podczas mrozu udawało się jej zapalać gaz za zbliżeniem nogi z góry do palnika gazowego, który został otworzony!

Zanim damy następujące określenia, dotyczące przewodników i izolatorów, radzimy uczniowi spojrzeć znowu na spis przewodników i izolatorów wydrukowany na str. 37 t. t. Wszystkie przewodniki, dobre i niezupełne aż do płomienia włącznie, mogą uchodzić za dobre przewo-

dniki, skoro się ma do czynienia z elektrycznością statyczną o wysokim napięciu 10000 lub około tego voltów. Poczynając od „płótna” i kończąc na porcelanie (nie wyłączając tej ostatniej) ciała mogą być uważane jako półprzewodniki, a od jedwabiu i dalej aż do końca jako izolatory dla 100000 v i więcej. Skoro dosięgniemy tych albo jeszcze większych napięć, elektryczność daje się stale utrzymać tylko zapomocą najlepszego szkła (flintglasu), ebonitu i szellaku, uformowanych w taki sposób, aby przedstawiały powierzchnię bardzo długą i skutkiem tego wysoki opór. Jeżeli powstaje przeciwdziałanie skutkiem drgań oscylacyjnych, jakie mają miejsce przy nagłych wyładowaniach, elektryczność może nawet wprost przebijać szkło i trzaskać je w kawałki albo przeskakiwać odstępów wielocentymetrowe w tym celu, by dosięgnąć przeciwnie naładowanego ciała lub ziemi, jak tego świeżo dowiodły piękne badania i doświadczenia dr. Lodge'a z błyskawicą i pioranochronami.

Definicje*) *Przewodniki.* Skoro jakiegokolwiek części ciała izolowanego dostarczymy ładunku elektrycznego i znajdziemy, że elektryzacja szerzy się po ciele w ciągu bardzo małego ułamka sekundy w sposób zupełnie określony (zależny od postaci ciała i jego względnego położenia pośród ciał otaczających), tedy ciało to nazywa się *przewodnikiem* elektryczności albo ciałem przewodzącym.

Izolator. Jeżeli którejkolwiek części ciała w jakibądź dowolny sposób udzielimy ładunku elektrycznego albo wytworzymy go na niej i tenże nie będzie dążył do bardzo szybkiego

*) Określenia te w stanie załączonym, dane były przez prof. Fleming'a, delegowanego przez Instytut Inżynierów Elektryków do Komitetu Nazw i Oznaczeń.

i określonego rozpościerania się, wtedy ciało to zowie się nieprzewodzącym i tworzy izolator.

Przewodniki niezupełne. Niema wyraźnej naturalnej granicy pomiędzy przewodnikami a nieprzewodnikami. Wszystkie izolatory przewodzą w małym stopniu, wszystkie zaś przewodniki stawiają szereg się ładunku elektrycznego na nich i w nich pewien stopień *oporu*. Istnieje wiele ciał, dla których wyrażenia przewodnik i nieprzewodnik mają tylko względne znaczenie, nazwano zaś je *przewodnikami niedoskonałymi* albo *izolatorami niedoskonałymi*, — tu należy drzewo, papier, skóra i t. d. *).

Przewodzenie jest nazwą stosowaną do tego przebiegu, na mocy którego odbywa się przenoszenie elektryzacyi w ciele od miejsca do miejsca, albo od jednego ciała do drugiego.

Izolacya jest nazwą stosowaną do stanu ciała, która wskazuje, że jego elektryzacya jest całkiem lub prawie trwała i że ładunek elektryczny nie przechodzi do tego ciała lub od niego w jakiegokolwiek ilości, dającej się wymierzyć.

Konwekcyja. Skoro ładunek elektryczny usuwany jest z ciała lub nadawany mu przez zetknięcie nieustające i ruch drobnych ciałek naprz. pyłków kurzu, których cząsteczki są tu środkiem przenoszenia ładunku elektrycznego z miejsca na miejsce, taki przebieg nazywa się *konwekcyją elektryczną*.

*Uciekanie **)* (po ang. *creeping*). Gdy ładunek elektryczny uchodzi przez powierzchnię ciała izolującego nie skutkiem przewodzenia samego ciała lecz z przyczyny warstwy brudu lub

*) Jak to już nadmieniliśmy w tekście, zaliczenie tych ciał do przewodników lub nieprzewodników zależy po części od właściwości powierzchni tych ciał, po części od wielkości napięcia elektrycznego, jakie mają znosić

**) Nawet gdy dane są dobre materyały i przyrządy, z działaniem tym eksperymentator najwięcej liczyć się musi. Jak się trzeba strzedz od niego w razie podstawą szklanych i ebonitowych, oraz rączek i podstaw izolujących, patrz w Dodatku do tej części.

wilgoci, która przewodzi, przebieg tej straty ładunku nazwany został *stratą przez uciekanie* (uchodzenie)

Przewodnictwo. Owa własność ciała, której zawdzięczamy, że ładunek elektryczny szerzy się na nich lub przez nie, nazywa się jego *przewodnictwem*. Odwrotna własność zowie się *oporem elektrycznym*.

Definicje te uczeń powinien starannie rozważyć sobie w świetle poprzednich doświadczeń lub jakichkolwiek innych, które nauczyciel uzna za stosowne mu pokazać.

Pytanie próbne i odpowiedź.

Pytanie. Dwie kulki bzone, z których jedna wisi na wilgotnej nici bawełnianej, zaś druga na suchej nici jedwabnej, dotknięte zostały drucikiem szklanym naładowanym dodatnio. Czy zachodzi jakakolwiek różnica w zachowaniu się obu kulek? I jeżeli tak, jaka różnica? i dlaczego?

Odpowiedź. Tak. Różnica polega na tem, że kulka bzowa zawieszona na nici *bawełnianej przylgnie* do pręcika, lecz przytem zmieniać będzie miejsce na jego powierzchni dopóki on się nie naładuje; tymczasem kulka bzowa zawieszona na nici *jedwabnej* w tejże chwili, gdy dotyka pręta, jest *odepchnięta* i pozostaje odepchniętą tak długo dopóki zachowuje ładunek otrzymany przy pierwszym zetknięciu. Gdyby kulka straciła swój ładunek, nanowo byłaby przyciągnięta, poczem znowu przez dłuższy czas pozostaje odepchniętą i t. d. Przyczyny tej różnicy wyjaśnione zostały przez trzy załączone szkice 291—293 i towarzyszące im uwagi.

Fig. 291.

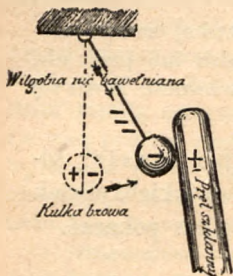


Fig. 293.

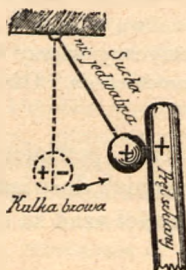


Fig. 293.



Elektryczność (+) na pręcie przyciąga powoli (—) z ziemi przez niebawełnianą niezupełnie przewodzącą i kulę białą. Skoro ta (—) zniweczyła w pewnym miejscu pręta (+), kulka nanowo jest przyciągnięta przez indukcję do nowego miejsca i t. d., dopóki pręt jest naładowany; ponieważ pręt jest izolatorem, może udzielać swojego ładunku tylko przez zetknięcie z każdym pojedynczym punktem.

Elektryczność (+) pręta odpycha ładunek (+) pozostawiony na kulce. Ładunek tej ostatniej wszakże znika bardzo powoli skutkiem uchodzenia przez izolującą nie jedwabną, poczem kulka przez indukcję nanowo jest przyciągnięta do pręta szklanego.

Pytania do wykładu XXIX.

1. Dlaczego niektóre ciała uważane są za izolatory elektryczności o niskim napięciu i za przewodniki elektryczności o wysokim napięciu?
2. Dane są dwie nici, które musimy sprawdzić w tym względzie: czy odosobniają elektryczność, czy też przewodzą; jak to zrobić?
3. Masz rozmaite sztabki z ciał nieznanymi. Opisz dokładnie (posiłkując się dobrymi szkicami) doświadczenia, które

ci pozwolą odróżnić przewodniki elektryczności od nieprzewodników.

4. Laskę laku trzymaną w ręku pocierasz suchą flanelą i znajdujesz, iż staje się ona naelektryzowaną. Sztabka mosiężna potraktowana w ten sam sposób nie zdradza żadnej elektryzacji. Jak objaśnisz tę różnicę?

5. Uszereguj następujące ciała podług ich przewodnictwa elektrycznego, na pierwszym miejscu stawiając najlepszy przewodnik: powietrze, miedź, szkło, żelazo, woda morska, szellak, czysta woda, drzewo.

6. Rurkę mosiężną, trzymaną w ręku, bijemy futrem koćm, poczem ona nie wykazuje wcale elektryczności, skoro ją zetkniemy z elektroskopem. Jak dowieść doświadczalnie, że jednak rurka istotnie elektryzowała się podczas tego uderzenia?

7. Jak dowiedziesz, że pogrzebacz uderzony futrem elektryzuje się? W jaki sposób możesz skonstatować rodzaj jego elektryzacji?

8. Jabłko trzymane w ręku i uderzone lisim ogonem nie zdradza żadnych śladów działania elektrycznego; zawieszona na nici jedwabnej i uderzone lisim ogonem, elektryzuje się, przyciąga lekkie ciała i sprowadza zjawisko rozchodzenia się listków elektroskopu. Objasnij te wyniki.

9. Kulka bzowa zawieszona została na cienkiej nici u statywy metalowej. Jak się przekonasz, skoro masz mocno naelektryzowany szklany pręt, czy nie jest przewodnikiem lub nieprzewodnikiem elektryczności?

10. Dwie kulki bzowe wiszą obok siebie na dwóch wilgotnych niciach bawełnianych, dwie inne na suchych niciach jedwabnych. Powiedz i objaśnij, co nastąpi, jeżeli od zdołu do każdej pary kulek powoli zbliżysz potarty pręt szklany?

11. Z dwóch kulek bzowych jedna wisi na wilgotnej nici bawełnianej, druga na suchej nici jedwabnej; obie zetknięte zostały z guzikiem naładowanej butelki lejdejskiej, którą trzymamy w ręku za zbroję zewnętrzną. Czy w zachowaniu obu

kulek zachodzi jaka różnica? i dlaczego? (*Uważaj butelkę lejdecką jako naładowany przewodnik*).

12. Objaśnij własnymi słowami pojęcia: przewodnik, izolator, przewodzenie, izolacja, strata przez uchodzenie, przewodnictwo, zdolność przewodzenia.

13. Co znaczą wyrażenia „przewodzenie” i „izolacja” w zastosowaniu do elektryczności przez tarcie? Opisz doświadczenie, które ma objaśnić własności drutu metalowego, zwykłych nici i nici jedwabnych we względzie przewodzenia i izolacji?

WYKŁAD XXX.

Treść: Jednoczesne wytwarzanie jednakowych ilości elektryczności dodatniej i ujemnej. — Analogia pomiędzy pneumatycznym a elektrycznym wytworzeniem napięcia dodatniego i ujemnego. — Szereg napięć elektrycznych, wywołanych przez tarcie. — Inne sposoby wytwarzania elektryczności jakoto łupanie, gniecenie, zmiana temperatury, promieniowanie światła i ciepła, parowanie wody i zagęszczanie pary będącej w ruchu. — Pytania.

Jednoczesne wytwarzanie jednakowych ilości elektryczności dodatniej i ujemnej. W opisie naszych doświadczeń z elektrycznością przez tarcie dotychczas rozpatrywaliśmy tylko stan elektryczny ciał potartych. Obecnie zajmiemy się badaniem stanu narzędzia do pocierania.

Doświadczenie VII. 1. Weźmy pręcik szklany GR i pocieracz FR z jedwabiu amalgamowanego. Przywiąż-

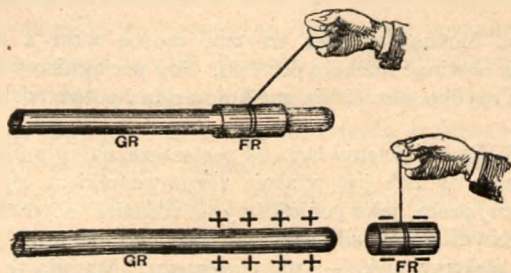


Fig. 294. Jednoczesne powstawanie jednakowych ilości elektryczności dodatniej i ujemnej.

my dalej mocno sznurek jedwabny do pocieracza i nasuńmy ten ostatni, jak wskazuje pierwsza z obu figur 294.

Trzymając jedną ręką sznurek naciągnięty, obróćmy pręt kilkakrotnie drugą ręką wokół tam i napowrót a potem szybko odsuńmy pocieracz od pręta *). Sprawdźmy zapomocą elektroskopu o listku złotym ładunki wytworzone na pręcie szklanym i na jedwabnym pocieraczu. Znajdziemy, iż ładunek na pręcie jest dodatni, zaś na narzędziu do pocierania — odjemny. Wyładujmy teraz całkowicie pręt, pocieracz i elektroskop. Znowu umieśmy pocieracz na pręcie i obróćmy ten ostatni, jak poprzednio, kilkakrotnie we wnętrzu narzędzia do pocierania, ale nie oddzielając tego ostatniego od pręta, poczem oba razem kładziemy na krążku elektroskopu. Żadnego śladu elektryzacji nie widzimy. Dowodzi to, że ładunek (+) na pręcie ściśle równoważy równy mu ładunek (—) na pocieraczu **).

Gdybyśmy zdołali, po oddzieleniu sztaby i narzędzia do pocierania, przez pociągnięcie izolującego sznurka jedwabnego całą elektryczność (+) przenieść z laski szkla-

*) Można też pręt trzymać mocno wraz z powłoką i sznurek obwinąć naokoło powłoki. Gdy pociągniemy sznurek, powłoka szybko obróci się naokoło pręta i potem odskoczy od niego.

**) Po oddzieleniu laski od pocieracza, energia elektryczna zebrana na nich jest właśnie równoważnikiem tej bardzo niewielkiej pracy, jaką ponieśliśmy na rozdział obydwóch wobec przeciwdziałania siły elektryczności (+) na lasce, przyciągającej elektryczność (—) na pocieraczu. Energia ta bynajmniej nie jest określonym ułamkiem pracy zużytej na pocieranie laski; zobaczymy jednak przy pewnej sposobności później, że ciepło wytworzone przez wyładowanie pomiędzy elektrycznością pocieracza a ciałem pocieranym jest prostą i dokładną miarą pracy poniesionej na ich oddzielenie.

nej szybko do elektroskopu a potem umieścić pocieracz na krążku, zanim dozna on jakiegokolwiek straty elektryczności (—) skutkiem uchodzenia, wówczas znaleźlibyśmy, iż skutkiem połączenia się jednakowych nabojów (+) i (—) elektroskop zachowałby się obojętnie. Owóż gdybyśmy mogli naładować elektroskop wszystką elektrycznością (+) laski, uważając dokładnie rozchylenie listków złotych, a potem gdybyśmy po wyładowaniu mogli elektroskop naładować wszystką elektrycznością (—) pocieracza, wtedy otrzymalibyśmy to samo rozchodzenie się listków. Atoli praktycznie niemożliwem jest wykonać wobec słuchaczy w sposób zadawalniający oba te przypuszczalne doświadczenia z powodu trudności napotykanych w usunięciu *całkowitego* ładunku z pręta szklanego, posiadającego własności izolujące, pod wpływem których ładunek się utrwała; a dalej z powodu czasu, jaki z konieczności musiałby upłynąć, gdybyśmy chcieli usunąć ładunek z laski zapomocą pewnego rodzaju krążka próbnego, przez co pewnej części ładunku na pocieraczu dalibyśmy sposobność do przejścia przez sznurek jedwabny i rękę do ziemi. Gdybyśmy jednak wzięli izolowaną rurkę mosiężną (fig. 289) i potarlibyśmy ją, dajmy na to, flanelą izolowaną za pośrednictwem sznura jedwabnego (jak w poprzednim doświadczeniu) albo obwinęli flanelą laskę izolującą i razem potarli nią sztabę, wtedy moglibyśmy zmierzyć całkowity nabój wytworzony na pocieraczu przez całkowity nabój wytworzony na rurce mosiężnej w ten sposób, iż wpierw kładziemy na krążku elektroskopu pocieracz a potem na nim naładowaną rurkę mosiężną.

Powyższe doświadczenia dają się odmieniac na wiele sposobów. Można tedy brać laski smoły, laku lub ebo-



Fig. 295. Wstążka jedwabna pocierana kauczukiem.

nit, a za narzędzie do pocierania izolowaną flanelę lub futro albo wstążkę jedwabiu SR pocieraną dwoma kawałkami rurki kauczukowej, jak to wskazuje fig. 295; a po sprawdzeniu wyników zapomocą elektroskopu o złotych listkach przekonamy się, iż na pocieraczu i ciele pocieranem jednocześnie wytworzone zostały równe ilości elektryczności dodatniej i odjemnej.

Analogia pomiędzy pneumatycznym a elektrycznym wytwarzaniem napięcia (ciśnienia) dodatniego i odjemnego. Robione były próby ustalenia pewnego podobieństwa pomiędzy chemicznym rozszczepianiem się i łączeniem się, by ułatwić rozumienie powstawania równowartych ilości elektryczności dodatniej i odjemnej, lecz próby te nie są przekonywające. Większe podobieństwo tego zjawiska elektrycznego daje się stwierdzić do pewnego zjawiska mechanicznego a to na mocy następujących doświadczeń i rysunków.

Środkowa część fig. 296 wskazuje na drodze graficznej równość ciśnienia, dodatniego i odjemnego, powstającego w maszynie pneumatycznej ponad lub pod ciśnieniem atmosferycznym oraz w maszynie elektrycznej ponad lub

pod potencjałem ziemi, uważanym za zero. Tak samo jak w pomiarach geodezyjnych kraju uznano za wygodne obrać poziom morza za poziom zero i od niego *w górę* mierzyc wysokość gór, zaś *w dół* głębokość mórz i kopaliń, tutaj uważamy potencjał powierzchni ziemi za *potencjał zero* i korzystamy z niego jako wygodnego i niezmiennego punktu porównawczego, od którego liczymy potencjał dodatni albo wysoki do góry i potencjał ujemny albo niski na dół.

Doświadczenie VIII. 1. Weźmy prostą maszynę pneumatyczną, wyobrażoną przez górną część figury, z dwu naczyń jednakowej pojemności, zawierających powietrze pod ciśnieniem atmosferycznym i połączonych ze sobą za pomocą krótkiej rurki opatrzonej w odpowiednie wentyle. Do środka tej rurki przymocowujemy pompę powietrzną. Poruszamy teraz rączkę H pompy powietrznej tam i napowrót i przez to wyciągamy powietrze z dolnego naczynia i wpędzamy je do drugiego. W naczyniu, do którego wpychamy powietrze, rośnie ciśnienie i ilość powietrza *ponad* normalne ciśnienie powietrza oraz normalną ilość powietrza w jednostce pojemności (naczynie przeto staje się *dodatniem*) *w tym samym kierunku*, w jakim słabnie ciśnienie i ilość powietrza poniżej wartości atmosferycznej w naczyniu dolnem (które staje się *ujemnem*). Dodatnie i ujemne ciśnienia mogą być oznaczane przez manometr Pg i próżniomierz Vg, *suma zaś ich zawsze pozostaje stałą* a m. równą normalnemu ciśnieniu atmosferycznemu.

2. Weźmy tryskawkę elektryczną taką, jak na dolnej części figury, złożoną z rurki szklanej GT zaopatrzonej w tłok ASP z jedwabiu naamalgowanego; tłok z jednej

strony złączony jest zapomocą pręta mosiężnego BR (który przechodzi w mosiężnej oprawie BC₂) z rączką izolującą

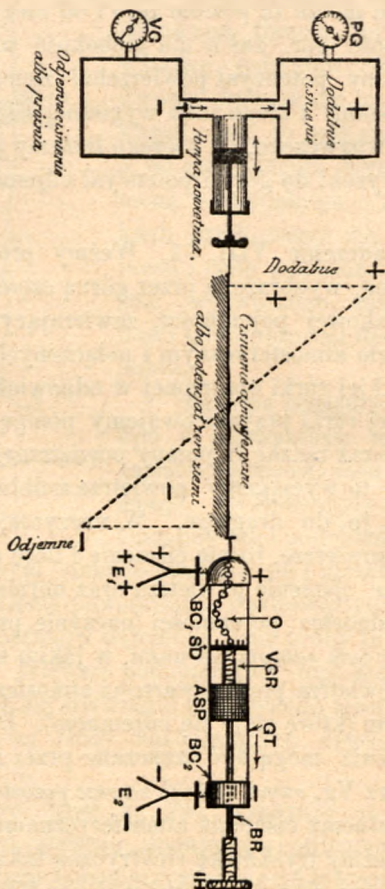


Fig. 296. Maszyna pneumatyczna w graficznym przedstawieniu, wraz z tryskawką elektryczną, służącą do wydławiania podobieństwa pomiędzy jednoczesnym wytwarzaniem równych napięć dodatnich i ojemnych.

JH i z drugiej strony odosobniony jest od krążka mosię-

żnego SD z ostrzami zapomocą lakierowanej sztabki szklanej VGR. Kształek z ostrzami połączony jest łańcuszkiem C lub giętkim przewodnikiem z oprawą mosiężną BC, umieszczoną w drugim końcu rurki. Jeżeli teraz będziemy poruszali izolującą rękojeść JH tryskawki tam i napowrót, wytworzymy przez to dodatnią elektryczność na wewnętrznej stronie rurki szklanej a ujemną na pocieraczu z jedwabiu amalgamowanego. Dodatnia elektryczność zbiera się na kształku z ostrzami, przechodzi po łańcuszku i ładuje dodatnio oprawę mosiężną BC. Ujemna elektryczność z narzędzia do pocierania idzie po sztabce mosiężnej i ładuje ujemnie oprawę mosiężną BC₂. Dodatnie i ujemne napięcia i naboje dają się uwidocznic przez połączenie BC₁ i BC₂ z dwoma elektroskopami lub miernikami napięcia elektrycznego E₁ i E₂; napięcia te *zawsze są równe*.

Szereg napięć elektrycznych wywołanych przez tarcie. Rodzaj elektryczności wytworzonej na ciele nie zawsze jest jednakowy. Naprz. szkło potarte jedwabiem (jak to nieraz dostrzegliśmy) elektryzuje się dodatnio; lecz szkło potarte flanelą lub futrem będzie ujemnie naelektryzowane. Różnica w samej tylko powierzchni obu ciał, dotycząca już budowy, już temperatury, wystarcza do wytwarzania na nich elektryzacyj przeciwnych przy zetknięciu lub potarciu, co też znaleziono w razie pocierania gładkiego szkła o zgryzione lub zmatowane. Gładkie szkło na tej samej przestrzeni staje się +, na jakiej matowe —. Szkło zimne staje się + względem szkła ogrzanego, jeżeli zostaną potarte o siebie i, w ogólności, jeżeli dwa ładunki jednego i tego samego ciała bywają pocierane o siebie, tedy gładzsze i zimniejsze elektryzuje się dodatnio. Prof.

Forbes w swoich „Zasadniczych wykładach elektryczności” mianych w Society of Arts zrobił uwagę: „Znajdujemy, że powierzchnia ma wpływ na charakter elektryzacyi. W ten sposób widzimy, iż czarna wstążka potarta o białą

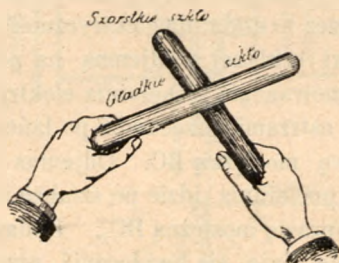


Fig. 297. Jednakowe ciała, lecz różniące się własnościami powierzchni, przez pocieranie wytwarzają elektryczność + i —.

staje się względem niej odjemną, że rozgrzany kawałek korka potarty o zimny jest względem niego odjemnym. We wszystkich tych wypadkach najczęściej ta powierzchnia jest odjemna, która lepiej odbija promienie ciepła i światła. Ciało gorące więcej wysyła promieni cieplnych, niż zimne, odjemnem też jest względem tego ostatniego. Szorstka powierzchnia lepiej promienieje niż gładka i odjemną jest względem niej. Czarne ciało wysyła więcej promieni cieplnych niż białe i zachowuje się względem tego ostatniego odjemnie. Atoli uważam to jedynie jako środek pamięciowy. Nie chcę przez to powiedzieć, że pomiędzy dwoma zjawiskami zachodzi związek fizyczny, chociaż w zachowaniu się niektórych ciał wobec ciepła i elektryczności są jeszcze inne uderzające podobieństwa”.

Te oraz inne okoliczności, naprzykład niewielkie różnice chemiczne, zmieniają położenie ciała w każdym szeregu, jaki moglibyśmy ułożyć; atoli następujący szereg możemy w przybliżeniu uważać za taki, w którym zazwyczaj ciało poprzedzające staje się +, skoro zostanie w zwykłej temperaturze potarte o jakiekolwiek następne, które staje się —.

Inne sposoby wytwarzania elektryczności. Oprócz tarcia są jeszcze inne sposoby wytwarzania elektryczności, naprz. lupanie, gniecie, zmiana temperatury, wyparowywanie wody i zagęszczenie pary będącej w ruchu. W istocie każde zakłócenie naturalnego stanu cząsteczek ciał wytwarza elektryczność; a jeżeli warunki po temu sprzyjają, np. gdy zachowana jest izolacja jednej lub obu części, to elektryzacja daje się zauważyć i stwierdzić zapomocą elektroskopu lub elektrometru.

Doświadczenie IX. 1. *Lupanie.* Weźmy płytkę mikkową i szybko przedzielnmy ją na dwie części, zgodnie

(+)

- | | |
|----------------------|-------------------------------|
| 1. futro | 11. ebonit |
| 2. flanela | 12. lak |
| 3. kość słoniowa | 13. żywica |
| 4. papier | 14. siarka |
| 5. szkło (gładkie) | 15. kauczuk (wulkanizowany) |
| 6. bawełna | 16. gutaperka |
| 7. jedwab | 17. kolodium |
| 8. szkło (matowe) | 18. powierzchnie amalgamowane |
| 9. metale | |
| 10. kauczuk (czysty) | (—) |

z załączoną figurą 298; z jednej strony rozłamu znajdziemy (+), z drugiej (—). Jeżeli rozbijemy kawałek cukru krystalicznego albo lodowatego, lub ziarno siarki, tedy z jednej strony rozłamu znajdziemy +, z drugiej —.

Jeżeli doświadczenia te robione są pociemku i w suchości, tedy towarzyszy im słabe i krótkotrwałe świecenie.

2. *Gniecenie*. Jeżeli dwa izolatory z różnych materiałów zostaną poprostu przyciśnięte do siebie a potem oddzielone, tedy części, które były zetknięte, będą przeciwnie naelektryzowane. Jeżeli ściśniemy szpat wapienny w rękach, lub w palcach, to naelektryzuje się on dodatnio. Wiele innych minerałów, jakoto szpat zwyczajny, mika i kwarc dają ten sam wynik za naciśnięciem*). Papier

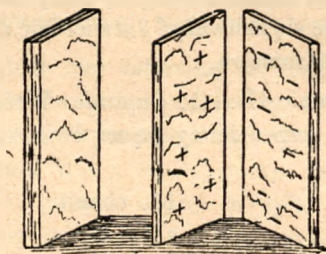


Fig. 298. Elektryzacja miki przez łupanie.

i sukno, po odwinięciu z gorących walców prasy fabrycznej, zdradzają często tak wysoki stopień elektryzacji,

*) To, że hemiedryczne kryształy naprz. kryształ górski, turmalin i t. d., skutkiem nacisku w kierunku osi o końcach niesymetrycznych elektryzują się przeciwnie, odkrył i zbadał szczegółowo Hankel. Elektryczność tę nazwał on *piezoelektrycznością*.

że wydają iskry 5 centymetrowe, za prostem zbliżeniem do nich knykcia. Zjawisko to zawdzięczamy połączonym działaniom tarcia i uciskania. W każdym razie



Fig. 299. Elektryzacya cukru lodowatego przy rozbijaniu.

jestto uderzający przykład elektryzacji, przyprawiającej nieraz o wielki kłopot fabrykanta, bo papier lub sukno tak mocno przylegają do walców, iż trzeba specjalnych urządzeń do wyładowania elektryczności w ziemię. W suchy i mroźny czas możecie otrzymać iskrę długości kilku centymetrów z pasów rzemiennych używanych do poruszania maszyn parowych, dynamomaszyn lub bloków fabrycznych *).

*) Ulubiony żart młodych inżynierów-elektryków w instalacjach światła elektrycznego, dążący do omamienia laika nie żywiącego żadnych podejrzeń, a zarazem nabicia mu głowy myślą, iż każda rzecz w tym miejscu musi być przeładowana elektrycznością, polega na tem, iż biorą oni zwykłą butelkę od piwa, do połowy napełnioną wodą, z drutem wystającym z szyjki butelki i, trzymając butelkę w jednej ręce, zbliżają drut do poruszającego się pasa; improwizowana butelka lejdejska wtedy ładuje się elektrycznością o wysokim napięciu. Wtedy butelkę przysuwają do nosa, ręki lub ucha gościa, aż ku jego zdumieniu i przykrości nastąpi przez niego wyładowanie. Cały przebieg jest zupełnie zrozumiałym dla ucznia, który przeczytał wykład o butelce lejdejskiej. Jednakże elektryczność, tą drogą otrzymana, żadnej nie ma styczności z elektrycznością umyślnie wytwarzaną przez dynamomaszynę.

3. *Zmiana temperatury.* Pewne kryształy z natury nieprzewodzące, takie jak cukier, topaz, boracyt i turmalin nabywają biegunowości elektrycznej (+ w jednym końcu osi i — w drugim) podczas ogrzewania i biegunowości odmiernej w czasie oziębiania w określonych granicach temperatury. Elektryczność powstała na tej drodze otrzymała nazwę *pyroelektryczności*, której nie należy mieszać z *termoelektrycznością*, otrzymywaną przez ogrzewanie miejsca zetknięcia metalów niejednakowych naprz. bizmutu i antymonu, używanych do stosów termoelektrycznych.

4. *Promieniowanie świetlne i ciepłe.* Hankel zauważył, iż niektóre gatunki szpatu a m. ciemno-zielone i niebiesko-fioletowe, skoro zostaną wystawione na promienie zwłaszcza fioletowe i ultrafioletowe, od światła nabywały biegunowości elektrycznej. Elektryczność tę nazwał on *fotoelektrycznością*. W kryształach górskim oraz innych kryształach ten sam badacz znalazł elektryzację biegunową pod wpływem ciepła promieniającego, którą on nazwał *aktynoelektrycznością*.

5. *Parowanie.* „Czysta woda nie powinna okazywać żadnego śladu elektryzacji podczas parowania; lecz woda zawierająca w stanie wolnym tlenki potasu, sodu, wapnia lub barytu staje się podczas parowania dodatnią +, para zaś ładuje się odjemnie —. Gdy atoli woda zawiera jakiś kwas rozpuszczony albo węglan, siarczan, chlorek, azotan lub octan, tedy staje się —, para zaś +.” „Jeżeli woda ulatnia się pod ciśnieniem większym od atmosferycznego, tedy ilość elektryczności, jaka się przytem wytwarza, rośnie wraz z ciśnieniem; lecz elektrycz-

ność nie wytwarza się wcale, jeżeli woda zawiera w roztworze niektóre z pomienionych soli^{n*)}.

6. *Zagęszczenie pary będącej w ruchu.* Tarcie pomiędzy parą częściowo zagęszczającą się w wąskich rurkach, przez które przedostaje się z kotła odosobnionego, udziela parze nabój dodatni, kotłowi odjemny. Wilgotne powietrze trące się o rurki działa w ten sam sposób. Przypuszczamy, iż połączone skutki parowania wody z morza i następnie zagęszczenie się tej wilgoci w obłoki wraz z różnicą temperatury i ruchami zagęszczonej pary wodnej pod wpływem wiatru wytwarzają elektryczność atmosferyczną, której wyładowania poznajemy w błyskawicach^{**)}.

Żadna z 6 ostatnio wymienionych metod wytwarzania elektryczności nie dała się zastosować, o ile nam wiadomo, do celów praktycznych, lecz nie ulega wątpliwości, iż bezpośrednia przemiana energii ciepła w energię elektryczną stanie się w przyszłości jednym z najsukuteczniejszych środków otrzymywania elektryczności.

*) Powyższa cytata wzięta jest z dzieła prof. Guthrie „Nauka magnetyzmu i elektryczności”.

**) Zasadniczą cechą tego rodzaju wytwarzania elektryczności jest tarcie kropelek cieczy o ciała stałe. Według badań Elster'a i Geitel'a większość ciał, nie dających się zwilżyć wodą, staje się przytem odjemną, kropelki zaś wody dodatnimi. Sohnke dowiódł, że lód staje się dodatnim przez tarcie kropelek wody, i na tem ufundował hipotezę o powstawaniu elektryczności atmosferycznej.

Pytania do wykładu XXX.

1. Jeżeli pocieramy laskę wosku flanelą, w jakim stanie jest pocieracz. Jeżeli pocieramy pręt szklany jedwabiem, w jakim stanie jest pocieracz. Naszkicuj i opisz treściwie doświadczenia, któremi możnaby przekonać o słuszności twojej odpowiedzi.

2. Skoro pocieramy laskę laku kawałkiem flaneli a potem oba ciała połączymy z elektroskopem, tedy listki nie poruszają się. Co się stanie z elektroskopem, gdy odsuniemy 1) flanelę 2) lak? Jaki będzie skutek w każdym z tych wypadków zbliżenia do elektroskopu prętu szklanego, potartego jedwabiem?

3. Jeżeli dwa ciała odosobnione A i B zostaną potarte o siebie i A elektryzuje się dodatnio, jaki jest stan elektryczny B: 1) pod względem rodzaju jego elektryzacji; 2) pod względem elektryzacji w porównaniu z A?

4. Kawałek laku potarty został flanelą, którą trzymamy przez rękawiczki kauczukowe. Lak i flanelę przyłożono do dwóch oddzielnych elektroskopów, które potem połączono izolowanym drutem metalowym. Opisz i objaśnij zachowanie się listków.

5. Opisz pewne doświadczenie, zapomocą którego możesz dowieść, że skoro wytworzyliśmy pewien rodzaj elektryzacji, to w równej ilości wytworzył się też rodzaj przeciwny.

6. Pręt laku potarto suchą flanelą. Naładowana kulka biała zawieszona na nici jedwabnej jest przyciągnięta za zbliżeniem do niej laku, lecz nie ulega wpływowi flaneli. Czy możesz wniesć z tego doświadczenia, że skoro lak i flanela zostaną potarte o siebie, elektryzuje się wyłącznie lak? Uzasadnij swoją odpowiedź.

7. Ubijasz w młoteczku siarkę, która się przez to elektryzuje, i kładziesz nieco tego proszku naelektryzowanego na płytce elektroskopu o listkach złotych; listki się rozchylają.

Dlaczego? wszakże siarka jest izolatorem i nie powinna udzielać swojej elektryczności. Usuwasz proszek za pośrednictwem izolatora; co się wtedy stanie i dlaczego?

8. Woreczek muslinowy, zawierający siarkę i czerwoną skórę sproszkowaną zawieszono zostały na wstążce jedwabnej w naczyniu metalowym, które stoi na krążku elektroskopu. Za potrząśnięciem woreczka proszek wysypał się przez muslin do naczynia i naelektryzował się przez tarcie. Ustal i objaśnij, jaki to skutek wywiera na elektroskop?

9. Wskaż znane ci inne sposoby wytwarzania elektryczności oprócz tarcia.

10. Podaj nazwy wszystkich ciał, które mógłbyś sprawdzić albo widziałeś, że je sprawdzano, po kolei z szeregu napięć przez tarcie, od dodatnich do ujemnych.

11. Wskaż podobieństwo pomiędzy jednoczesnym wytwarzaniem równych elektryczności dodatniej i ujemnej z jednej strony a mechanicznym przebiegiem z drugiej.

12. Po izolowaniu i potarciu sztaby miedzianej kawałkiem jedwabiu, położyliśmy ją na krążku elektroskopu o listkach złotych. Listki się rozchylają. Rozchodzenie to rośnie, jeśli do elektroskopu zbliżymy pręt szklany ogrzany i potarty lakiem. Jaki dowód można przytoczyć na to, że miedź została naelektryzowana?

WYKŁAD XXXI.

Treść: Indukcja elektrostatyczna. — Ładowanie elektroskopu o listkach złotych przez indukcję elektrostatyczną. — Nabój na zamkniętym izolowanym ciele wzbudza nabój równy i przeciwny. — Określenie indukcji elektrostatycznej — Elektrofor. — Jak się nabija elektrofor. — Teorya elektroforu. — Jak się ładuje konduktor izolowany z elektroforu dodatnio lub odjemnie. — Pytania.

Na wykładzie VI t. I mieliśmy doświadczenia z *indukcją magnetyczną*; określiliśmy ją tam i objaśniliśmy, zaś na wykładzie XIX t. I uczyniliśmy to samo z *indukcją elektromagnetyczną*. Obecnie postąpimy w ten sam sposób z *indukcją elektrostatyczną* i przekonamy się, że zachodzi wielkie podobieństwo pomiędzy działaniami indukcji magnetycznej a elektrostatycznej. Skutkiem tego uczeń, który przyswoił sobie wyniki tam wyłożone, znajdzie mniej trudności w pojmowaniu zjawisk elektrostatycznych, niż gdyby miał rozpoczynać naukę od tego działu.

Indukcja elektrostatyczna. Doświadczenie X. 1. Połączmy odosobniony konduktor*) zapomocą drutu izolowanego z małym otworkiem zrobionym na brzegu krążka elektroskopu o listkach złotych, jak na następującej figu-

*) Konduktor metalowy może nie być jednolity. Może być zrobiony z cienkiej blachy mosiężnej, cynowej, cynkowej lub żelaznej lub też z drzewa toczonego i powleczonego cynfolią lub złotym papierem. Nie powinien on zawierać ostrych krawędzi i ostrzy. Słupek izolujący GS może być zrobiony z flintglasu lub ze zwykłego szkła wygrzanego i powleczonego lakierem szellakowym (w celu zapobieżenia osadzaniu się wilgoci na powierzchni szkła) i osadzony w podstawie drewnianej WB.

rze. Przybliżmy dodatnio naelektryzowany szklany pręt zgóry do konduktora. Postrzegamy odrazu, iż listki elektroskopu rozchodzą się. Gdy pręt szklany pozostaje w tym położeniu, rozłączamy drut z elektroskopem i z konduktorem zapomocą bardzo starannie izolujących obcęgi ebonitowych EF, nie pozwalając jednak, by drut zetknął się z czemkolwiek, aż zostanie w zupełności oddzielony od elektroskopu i konduktora metalowego. Wtedy odsuwamy naładowany pręt szklany. Ponieważ otrzymujemy większe rozchylenie listków, jesteśmy pewni, iż elektryczność odepchnięta od konduktora metalowego przez drut do elektroskopu, wobec dodatnio naładowanego pręta szklanego, również jest *dodatnia*. Następnie wyłado-

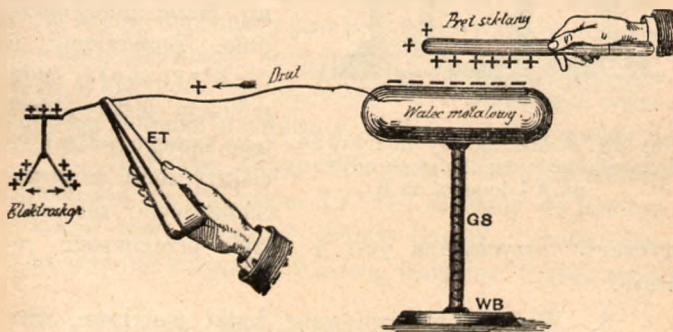


Fig. 300. Zasadnicze doświadczenie z indukcją elektrostatyczną.

wujemy elektroskop i przenosimy część ładunku pozostawionego na izolowanym konduktorze metalowym do elektroskopu, aż listki rozejdą się na przyzwoitą odległość. Jeżeli chcemy otrzymać jeszcze większe rozchylenie list-

ków, przybliżamy zgóry do krążka elektroskopu pręt ebonitowy potarty flanelą, o którym wiemy, iż jest odjemny. W ten sposób dowiedliśmy, iż przyciągany ładunek na konduktorze metalowym jest —, czyli *przeciwego* rodzaju niż ładunek na pręcie szklanym.

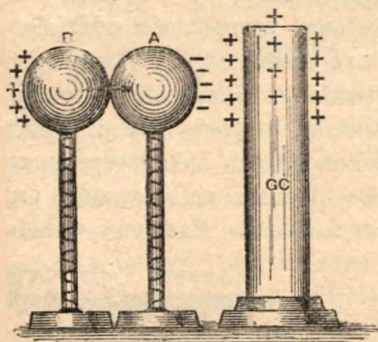


Fig. 301. Walec szklany naładowany dodatnio wzbudza ładunek odjemny na A i dodatni na B,

2. Bierzemy pręt ebonitowy naładowany odjemnie i przybliżamy go zgóry do konduktora metalowego połączonego drutem z elektroskopem. Pozostałą część doświadczenia wykonywamy ściśle jak poprzednio. Znajdujemy, iż elektryczność odepchnięta jest —, czyli tego samego rodzaju, co elektryczność na pręcie ebonitowym, zaś elek-

tryczność przyciągana jest +, czyli *przeciwego* rodzaju.

3. Weźmy dwie izolowane kulki metalowe, dwa jabłka, dwie pomarańcze, dwa jajka lub w istocie parę jakichkolwiek zaokrąglonych konduktorów opartych na słupkach izolujących lub zawieszonych na niciach jedwabnych. Umieścmy je tuż obok siebie tak, aby się stykały w pobliżu dodatnio naładowanego izolatora naprz. cylindra szklanego potartego jedwabiem amalgamowanym jak na fig. 301.

Po-pierwsze, odsuwamy B na pewną odległość od A *).

Po-wtóre, oddalamy ładunek wzbudzający z A. Sprawdzamy zapomocą elektroskopu ładunek na B i znajdujemy, iż jest on +, czyli tego samego rodzaju, co ładunek wzbudzający + **). Sprawdzamy ładunek na A i znajdujemy, iż jest on —, czyli znaku *przeciw nego* do ładunku wzbudzającego. A zatem wyniki otrzymane w doświadczeniu X wyp. 1 uzyskały potwierdzenie.

4. Bierzemy tę samą lub inną parę konduktorów izolowanych i nanowo doprowadzamy je do zetknięcia ze sobą, lecz tym razem w sąsiedztwie ciała naładowanego odjemnie, naprz. pręta ebonitowego potartego flanelą. Gdy wykonamy to doświadczenie jak w wypadku 3, znajdziemy, iż nabój odepchnięty jest podobnego rodzaju, przyciągany zaś przeciwnego, co ładunek wzbudzający, czyli nabój na B będzie —, zaś na A +, wobec odjemnego wzbudzającego ładunku w pobliżu A. Potwierdza to wypadek 2.

5. Bierzemy długą izolowaną listwę drewnianą wspomnianą na wykładzie XXVII i zbliżamy do jednego jej końca pręt ebonitowy potarty flanelą. Zanim odsuniemy pręt lub zetkniemy z listwą, bierzemy krążek prób-

*) Gdybyśmy odsunęli najpierw ładunek wzbudzający, wtedy ładunki wzbudzone na A i B natychmiastby się połączyły i znaleźlibyśmy oba A i B obojętnymi.

**) Przenosząc ten lub jakikolwiek inny konduktor również izolowany nie ujmuj go nigdy za słupek izolujący tuż przy konduktorze z obawy, że mógłbyś popsuć izolację, pozostawiając warstwę brudu lub potu, co pozwoliłoby ładunkowi ujść do ziemi. *Zawsze ujmować należy za podstawę drewnianą albo w pobliżu niej.*

ny i przykładamy go do końca listwy, zbliżonego do odjemnie naładowanego ebonitu. Przysuwamy krążek próbny do elektroskopu o listkach złotych i sprawdzamy jego ładunek. Znajdujemy, że jest on $+$ czyli rodzaju przeciwnego do ładunku na ebonicie. W ten sam sposób przenosimy ładunek dalszego końca listwy do elektroskopu. Sprawdzamy go i znajdujemy, iż jest odjemny. Teraz rozumiemy, dlaczego listwa posuwa się za ciałem naładowanem, a to dlatego, że elektryczność przeciwna przycią-

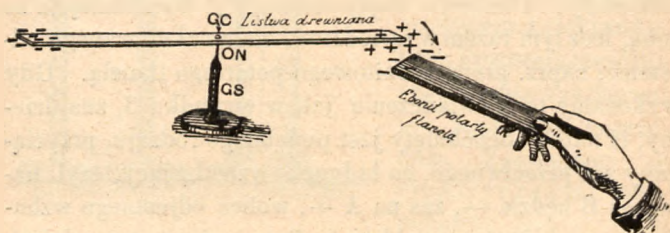


Fig. 302. Działanie indukcyjne pręta odjemnie naładowanego na izolowaną listwę drewnianą.

gana jest do końca zbliżonego do ładunku wzbudzającego a elektryczność podobna odpychana jest do końca dalszego.

Jeżeli teraz zwrócimy się do wykładu VI t. I str. 70 musimy zauważyć podobieństwo pomiędzy indukcją magnetyczną a elektrostatyczną. W obu indukcjach poprzedza przyciąganie; przyciąganie bowiem jest tylko skutkiem indukcji, za sprawą której elektryczność odmienna czyli biegun odmienny zjawia się od strony zbliżonej do ciała wzbudzającego. Jest jednak różnica pomiędzy nimi w tem, że przez indukcję elektrostatyczną możesz zmusić

ciało do naładowania się jednym tylko rodzajem elektryczności (+ lub —), gdy żadnym sposobem nie możesz otrzymać magnesu o jednym tylko biegunie Pn lub Pd.

6. Bierzemy dodatni pręt szklany i kładziemy go na stole wykładowym albo na innym jakim ciele połączonym z ziemią. Dotknijmy krążkiem próbnym stołu, nie odsuwając pręta szklanego, i za pomocą elektroskopu zbadajmy ładunek tym sposobem wzbudzony na stole i krążku próbnym. Znajdujemy, iż jest — czyli rodzaju przeciwnego ładunkowi szkła. Zrób zupełnie to samo z prętem ebonitowym naładowanym —, a zauważysz, iż krążek próbny wykazuje +. Elektryczność tego samego rodzaju, co ła-

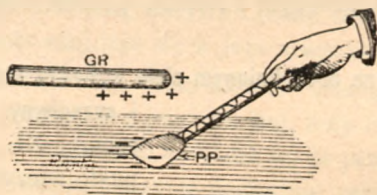


Fig. 303. Badanie elektryczności wzbudzonej na ciele połączonym z ziemią.

dunek wzbudzający, w każdym razie została odepchnięta do ziemi, bo przeciwna elektryczność *związana jest* przez ładunek wzbudzający.

Ładowanie elektroskopu o listkach złotych przez indukcję elektrostatyczną. Po zbadaniu tych 6 prostych doświadczeń jesteście w stanie zrozumieć działania okazane na rycinach 287 na wykładzie XXII. Patrząc na nie, zauważycie, że jeżeli za punkt wyjścia obierzemy stan obojętny elektroskopu, to

1. Ładunek wzbudzający *przyciąga różnoimienny i odpycha jednoimienny* rodzaj elektryczności

2. Rozdział polega na odepchnięciu do ziemi *wolnego jednoimiennego* ładunku elektrycznego i na *związaniu ładunku różnoimiennego*.

3. Teraz następuje ładowanie *najpierw* przez usunięcie połączenia z ziemią, *powtórę* ładunku wzbudzającego.

4. W każdym razie elektroskop zostaje naładowany elektrycznością *przeciwną* pierwotnemu ładunkowi wzbudzającemu.

5. By wyładować elektroskop i przywrócić go do stanu obojętnego należy tylko dotknąć go palcem lub innym ciałem połączonym z ziemią, poczem listki zejść się nanowo.

Ładunek na odosobnionym ciele wzbudza ładunek równy

i przeciwny. Doświadczenie XI. Głębokie, puste naczynie metalowe, dobrze izolowane, łączymy zapomocą długiego izolowanego drutu z krążkiem odległego elektroskopu o listkach złotych. Bierzemy kul-

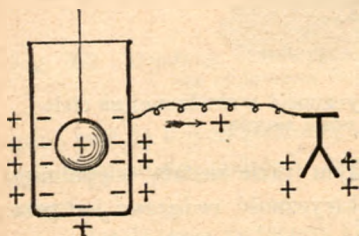


Fig. 304. Doświadczenie Faraday'a dowodzące, iż każdy ładunek wzbudza ładunek równy sobie i przeciwny.

kę metalową i zawieszamy ją na długiej, możliwie dobrze izolującej ni-

ci jedwabnej. Ładujemy kulę, dajmy na to, dodatnio. Wpuszczamy ją całkowicie w naczynie widoczne na załączonej figurze. Widzimy, że skoro kula została wpuszczona

w naczyniu tak blisko, że znalazła się tuż pod poziomem krawędzi, rozchylenie listków elektroskopu już się nie zwiększa przez dalsze obniżenie kuli nawet gdy ta ostatnia dosięga dna lub dotyka boków naczynia. Dowodzi to, że gdy tylko kula znajdzie się całkowicie we wnętrzu naczynia, na wewnętrznej powierzchni tego ostatniego wzbudza się ładunek ściśle równy ładunkowi rurki, chociaż *przeciwne*go rodzaju; na zewnętrznej zaś stronie naczynia wzbudza się inny ładunek, także równy ładunkowi kuli ale tego samego rodzaju. Dlatego nie jest rzeczą niezbędną wyładowywać ciało w celu zmierzenia jego ładunku, bo jak tego dowodzi powyższe doświadczenie, potencjał naczynia otaczającego jest ten sam, wszystko jedno czy ciało dotyka go, czy poprostu znajduje się w jego wnętrzu.

Jeżeli naładowana kula zostanie usunięta z pustego naczynia bez zetknięcia z jego bokami, tedy listki elektroskopu zejść się napowrót; dowodzi to, że przyciągany ładunek — we wnętrzu naczynia dokładnie zniweczył odepchnięty ładunek — na stronie zewnętrznej, skoro przyczyna wzbudzająca ładunek została usunięta.

Jesteśmy teraz w stanie zrozumieć następującą definicyę indukcyi elektrostatycznej:

Definicya. Indukcya elektrostatyczna jestto działanie, przez które naładowane ciało otoczone dielektrykiem) wywołuje na wewnętrznej stronie powłoki za-*

*) Każdy ośrodek izolujący, uważany za siedlisko indukcyi elektrostatycznej, nazywa się *dielektrykiem*. W późniejszych wykładach dla klas wyższych znajdziemy sposobność do lepszego odróżnienia nazw „ośrodek izolujący“

wierającej ciało i dielektryk, ładunek równy sobie i przeciwny*).

Elektrofor. Przyrząd, który tak się zowie, jest urządzeniem mechanicznym pozwalającym otrzymywać zapomocą indukcji elektrostatycznej szereg ładunków elektrycznych z jednego tylko stałego ładunku otrzymanego przez pocieranie izolatora.

Pierwszy elektrofor zbudowany był przez Voltę w roku 1775, wyraz zaś powstał od dwu greckich wyrazów *ηλεκτρον* (électron)—bursztyn i *φερον* (fero) — niosę, przesyłam.

Jestto jeden z najlepszych przykładów indukcji, jakie wolno nam przytoczyć na tym stopniu naszej wiedzy i dlatego na budowę**) i na działanie jego zwracamy szczególną uwagę czytelnika.

Z załączonej figury i opisu części widać, iż forma wykładowa elektroforu składa się z kręgu metalowego opatrzonego w rączkę izolującą. Dolna powierzchnia tego kręgu powinna być płaska, brzegi zaś starannie zaokrąglone. Niekiedy też zaopatrują go w guzik do wyładowywania, lecz dodatek ten nie jest istotnym. Część dol-

i „dielektryk,“ podobnież do rozważania zdolności indukcyjnej rozmaitych dielektryków t. j. ich odpowiednich zdolności przenoszenia wysiłów indukcji elektrycznej.

*) Albo indukcja elektrostatyczna jest nazwą nadawaną działaniu i przeciwdziałaniu, jakie zachodzi, gdy siła elektryczna wychodząca z ciała naładowanego ujawnia elektryczność utajoną na przewodniku sąsiednim, bez istotnego zetknięcia pomiędzy ciałami.

**) Patrz w Dodatku do cz. III „Jak się buduje tani elektrofor.“

na składa się z okrągłej buły szellakowej, smolowej, siarkowej, ebonitowej lub wulkanitowej o powierzchni równej,

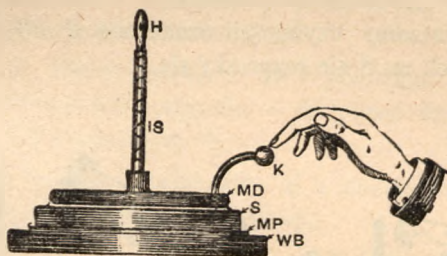


Fig. 305. Elektrofor.

Opis części:

H	wyobraża	rączkę
JS	"	trzonek odosobniający
K	"	guzik (metal)
MD	"	krąg metalowy
S	"	szellak lub siarka (buła izolująca)
MP	"	plyta metalowa
WB	"	podstawa drewniana

czystej i suchej. Warstwa ta przyklejona jest do płyty metalowej lub do cynfolii przymocowanej do podstawy drewnianej.

Jak naładować elektrofor. Doświadczenie XII. Zauważ po kolei 4 figury następujące:

Fig. 1 Wybijamy starannie powierzchnię S futrem kota.

Fig. 2 Nakładamy płytę MD na S, biorąc za H*).

*) Obie płaskie powierzchnie przylegają do siebie gładko i szczelnie, chociaż dotykają się tylko w niewielu punktach;

Fig. 3. Dotykamy K ręką.

Fig. 4 Usuwamy MD za pośrednictwem H i ładunku udzielamy jakiegokolwiek rzeczy.

Powtarzamy czynności oznaczone (2), (3) i (4), dopóki ładunek na S nie rozproszy się.

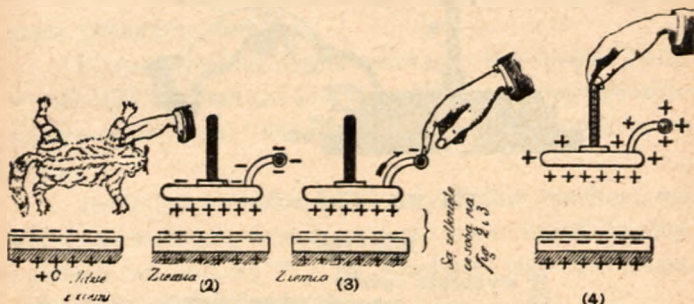


Fig. 306. Figury przedstawiające ładowanie elektroforu.

Teorya elektroforu. *Rozważmy sobie nanowto rozmaite części figury 306.*

Fig. 1 Wzbudzenie, wywołane na S przez futro kota, wytwarza na szellaku elektryczność —, która przyciąga + z ziemi ku dolnej powierzchni S i odpycha — w zie-

a ponieważ powierzchnia szellaku jest doskonałym izolatorem, przeto skoro te punkty zostaną pozbawione swoich niewielkich ładunków, elektryczność z trudnością do nich przeskakuje, tak że ładunek pierwotnie udzielony S posiada swobodę wzbudzania wielu kolejnych ładunków na MD; naprawdę dopóki ładunek na S nie rozproszył się lub nie uszedł w ziemię. Odległość pomiędzy S a MD na fig. (2) i (3) znacznie została powiększona w celu uwydatnienia znaków — i +.

nię. Odjemna elektryczność na S wiąże + tak długo, dopóki na S istnieje ślad elektryczności, oddziaływanie zaś elektryczności + wzbudzonej przez ziemię zmusza — do uchodzenia w masę szellaku *).

Fig. 2 Elektryczność — na S przyciąga + do dolnej powierzchni MD i odpycha — do górnej strony przez indukcję elektrostatyczną **).

Fig. 3. Przez połączenie K z ziemią osiągniemy to, że wolna elektryczność — uchodzi.

Fig. 4. Usuwając MD z S, zyskujemy to, że ładunek + rozchodzi się po powierzchni MD.

Jak naładować konduktor izolowany dodatnio lub odjemnie z elektroforu. Doświadczenie XIII. 1. *Dodatnie naładowanie konduktora.* Usuwamy krążek metalowy + jak na fig. (4) i stykamy go z przewodnikiem. Powtarzając te czynności kilkakrotnie jak na fig. (2), (3), (4), możemy nadać konduktorowi sporą ilość elektryczności, nie bijąc *powtórnie* buły szellakowej, lecz potencjał ładunku na przewodniku nigdy nie może się wznosić ponad potencjał ładunku wzbudzonego na kręgu metalowym.

*) Z przenikaniem elektryczności można wykonać zajmujące doświadczenie. Skoro elektrofor przez pewien czas znajdował się w stanie naładowanym 3, rozbieramy go i podnosimy bułę z podstawy metalowej (która, rzecz prosta, nie powinna być przyklejona); przesuwając rękę, usuwamy z górnej strony — i kładziemy bułę w pozycji odwróconej na podstawie. Gdy postąpimy teraz jak 2, 3, 4, widzimy, iż pokrywa jest naładowana —. Niechaj czytelnik to objaśni.

**) Przeczytaj tutaj dopisek poprzedzający.

2. *Odjemne naładowanie konduktora.* Usuwamy krążek metalowy + jak na fig. (4) i zbliżamy go do konduktora izolowanego. Ów przyciąga i wiąże — na stronie zbliżonej do konduktora. Teraz dotykamy przewodnika w jakimkolwiek punkcie palcem lub innym ciałem połączonym z ziemią; zniewala to odepchniętą swobodną elektryczność + do przejścia w ziemię. Usuwamy wtedy krąg metalowy z sąsiedztwa konduktora, teraz gdy ten ostatni jest *odjemnie* naładowany.

3. Albo, jeżeli odosobniony konduktor jest przenośny, przysuwamy go aż do zetknięcia z guzikiem K zamiast dotykać go ręką; wtedy od odepchniętej elektryczności — na MD otrzymuje on ładunek —. Powtarzamy to kilkakrotnie dopóty, aż otrzymamy na konduktorze całkowity żądany ładunek.

Pytania do wykładu XXXI.

1. Daj trafne określenia nazw „przewodzenie (kondukcyja) elektryczne” i „indukcyja elektryczna.”

2. Jeśli naelektryzowany kawałek metalu zetkniemy z elektroskopem o złotych listkach, tedy listki rozejdą się i skoro metal usuniemy, listki pozostaną rozsunięte. Lecz jeśli metal naelektryzowany będzie tylko zbliżony do elektroskopu, a potem usunięty, listki najpierw skoro naelektryzowany metal znajdował się w pobliżu, rozejdą się, lecz opadną zaraz po usunięciu metalu? Dlaczego w jednym wypadku mamy stałe działanie na listki elektroskopu, zaś w drugim tylko chwilowe?

3. Co oznacza nazwa „izolowany?” Przysuwam pręt szklany, który został potarty jedwabiem, do izolowanej kuli

mosiężnej; jaki jest stan kuli, gdy szkło znajduje się w pobliżu? Co nastąpi, gdy szkło zostanie usunięte?

4. Trzymam suchy pręt szklany, który został potarty jedwabiem, w pobliżu kuli mosiężnej, opartej na suchej szklanej podstawie; jaki jest stan kuli? Przypuśćmy, że podstawa kuli mosiężnej z suchej stała się wilgotną — co wtedy nastąpi?

5. Prosta laska laku w prostopadłym położeniu została przyklejona do kawałka drzewa użytego za podstawę; w górny koniec laku wbito igłę a na igłę osadzono jabłko; w pobliżu jabłka, ale bez zetknięcia z nim, umieszczono pręt szklany potarty jedwabiem. W jakim stanie znajduje się jabłko, gdy pręt znajduje się blisko? Nareszcie co nastąpi, gdy potarte szkło zostanie usunięte?

6. Szklany pręt potarty jedwabiem amalgamowanym przysunięto do izolowanej kuli metalowej; na chwilę dotykamy kuli od strony laski szklanej, poczem usuwamy szklany pręt. Opisz i wytłumacz działanie każdej z tych czynności w tym doświadczeniu.

7. Sztabę mosiężną położono poziomo na suchej szklanej podstawie i do jednego końca sztaby zbliżono mocno naelektryzowaną kulę metalową (nie dość jednak blisko, ażeby przeskakiwała iskra). Wtedy dotykamy na chwilę sztaby końcem drutu połączonego z ziemią i kulę usuwamy. Czy wywoła to jaką różnicę w ostatecznym stanie elektrycznym sztaby mosiężnej, gdy drut dotknie jej w końcu bliskim kuli, najdalszym lub w środku? Uzasadnij swoją odpowiedź.

8. Skoro masz płytę mosiężną dodatnio naładowaną i kawałek złotego papieru przymocowanego do jednego końca suchej laski szklanej, w jaki sposób naładujesz złoty papier elektrycznością odjemną.

9. Dwie kule metalowe, odosobnione, zostały przysunięte do siebie, aż do zetknięcia. W pobliżu jednej z kul umieszczono sztabę mosiężną, naelektryzowaną dodatnio, i w trakcie tego drugą kulę usunięto. Teraz usuwa się szklany pręt. Wówczas zbliżamy nanowo kule do siebie i po-

między niemi przeskakuje iskra. Uzasadnij swoją odpowiedź.

10. Masz łaskę laku naelektryzowanego odjemnie i dwie kule metalowe osadzone na izolujących podstawach; jak postąpisz, by zapomocą łaski naładować kule przeciwnemi rodzajami elektryczności? W jaki sposób potem przekonasz się, czy kule zostały naładowane tak jak to było zamierzone i czy ładunki ich są równe lub nierówne?

11. Trzy izolowane kule metalowe A, B, C, umieszczono na jednej linii, A i B zetknięte, C nieco opodal. C naelektryzowano dodatnio, poczem kule A i B zostały rozsunięte. Jaki jest obecny stan elektryczny A i B?

12. Listwa 2 m długa, opiera się środkiem swoim na suchej szklance do picia. Pod jednym końcem listwy w odległości 5 do 10 centymetrów umieszczono kilka skrawków złota arkuszowego lub innych lekkich ciał. Naelektryzowany przez tarcie szklany pręt umieszczono nad drugim końcem listwy, lecz bez zetknięcia; kawałeczki papieru złotego wnet są przyciągnięte. W jaki sposób powstaje to przyciąganie?

13. Znaleziono, iż łaska laku potarta flanelą elektryzuje się odjemnie. W jaki sposób za jej pośrednictwem możemy naładować krążek próbny elektrycznością +?

14. Łaska szklana potarta jedwabiem amalgamowanym znajduje się tuż pod kurkiem beczulki metalowej, z którego jedna za drugą wpadają do miseczki śródciny z tego samego metalu co naczynie, nie napotykając jednak łaski szklanej. Powiedz i objaśnij wynik, zauważony 1) jeśli naczynie i miseczka będą każde z osobna połączone z oddzielnym elektroskopem, 2) jeśli oba będą połączone z tym samym elektroskopem.

15. Narysuj elektrofor. Objaśnij jego budowę i działanie w zupełności zapomocą szeregu szkiców konturowych.

16. Co nastąpi, jeśli płytę żywiczną elektroforu wybijemy ogonem lisa? Po wzbudzeniu płyty, w jaki sposób dobędziesz z elektroforu iskry?

17. Powiedz ściśle, jak należy postąpić, by otrzymać z elektroforu szereg kolejnych iskiei?

18. Na płycie mosiężnej opatrzonej w rączkę szklaną, leży kuleczka bżowa. Całość spoczywa na bule żywiczej, którą potarto futrem kocim. Po dotknięciu przez nas buły palcem i podniesieniu jej do góry za rączkę, kulka bżowa odskakuje od płyty. Dlaczego?

19. Kawalek suchego papieru do pisania został położony na gorącym półmisku metalowym, potartym futrem kota. Następnie półmisek położono na suchej szklance do picia i papier odsunięto. Wytłomacz dlaczego jeżeli przysuniesz teraz knykieć do półmiska, otrzymasz iskrę.

20. Cztery zupełnie podobne, odosobnione kulki metalowe A, B, C, D umieszczono w jednym szeregu. Dwie kulki wewnętrzne B, C, stykają się z sobą, odstępy zaś AB i CD są równe. Skoro A i D zostały naelektryzowane, jaki będzie stan elektryczny B i C, gdy najpierw jedna, a potem druga będą usunięte A i D z sąsiedztwa w tych razach: 1) gdy ładunki na A i D są równe i przeciwne; 2) gdy ładunki są równe i podobne?

WYKŁAD XXXII.

Treść: Elektryczne rozmieszczenie elektryczności na przewodnikach. — Ładunek elektrostatyczny przebywa na powierzchni. — Ładunek elektrostatyczny przebywa na zewnętrznej powierzchni pustych konduktorów izolowanych. — Gdy nie ma żadnych innych wpływów, rozmieszczenie zależy wyłącznie od formy przewodnika. — Potencjał, gęstość, wysił elektryczny i działanie ostrzy. — Prawo rozmieszczenia elektrostatycznego. — Pytania.

Elektrostatyczne rozmieszczenie elektryczności na przewodnikach. Rozpatrując nanowo określenie przewodnika i izolatora dane w rozdziale XXXI, znajdujemy tam twierdzenie, że jeżeli jednej części ciała nieprzewodzącego udzielono elektryczności lub ją tam wytworzono, tedy ładunek pozostaje w tym punkcie lub rozprasza się po powierzchni *bardzo* powoli i w sposób nieokreślony; tymczasem, w razie przewodnika ładunek prawie odrazu rozmieszcza się na ciele w sposób zupełnie określony, zależny od postaci ciała i jego położenia względem innych ciał otaczających. Na wykładzie teraźniejszym zbadamy doświadczalnie, w jaki sposób ładunek elektrostatyczny rozmieszcza się na przewodnikach rozmaicie ukształtowanych i ustalimy prawo, od którego owo rozmieszczenie zawisło.

Elektrostatyczny ładunek przebywa na powierzchni. Doświadczenie XIV. Weź kulę metalową zawieszoną na haku zapomocą dobrze izolującej nici jedwabnej 1 m długiej. Naelektryzujemy kulę zapomocą elektroforu objaśnionego na ostatnim wykładzie albo naładowanej butelki lejdejskiej (o której będzie mowa na wykładzie następ-

nym). Zbliżamy teraz do kuli jednocześnie z obu stron dwa naczynia metalowe półkuliste nienaładowane (trzymając je za ręczki izolujące) aż się spotkają i szczelnie przylegną do kuli. Oddalamy naczynia i badamy zapomocą

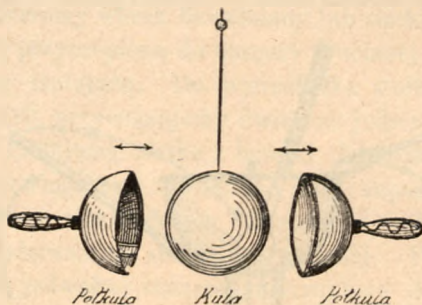


Fig. 307. Doświadczenie Biot'a.

elektroskopu o złotych listkach. Przekonywamy się, że każda z półkul obecnie jest naładowana. Sprawdzamy kulę, przysuwając ją na nici jedwabnej do elektroskopu i widzimy, iż ładunku nie ma. Przy zetknięciu z kulą oba naczynia stanowiły z nią jeden przewodnik, przytem wzajemne odpychające działanie pomiędzy każdą częścią ładunku a wszystkimi innemi częściami tegoż spędziło cały ładunek na powierzchnię zewnętrzną. Na wynik nie to a nie wpływa czy kula jest jednolita czy pusta, zrobiona z najcieńszego metalu, lub nawet z drzewa albo istotnie z czegokolwiek bądź powleczonego cynfolią lub złotym papierem; stopień grubości lub cienkości nie ma znaczenia dla tych naczyń metalowych, bo ładunek zawsze przechodzi na powierzchnię zewnętrzną.

Ładunek elektrostatyczny przebywa na powierzchni zewnętrznej pustych przewodników izolowanych. Doświadczenie XV. 1. Weź kociołek metalowy B i ustaw go na szklance do picia T powleczonej szellakiem. Wewnętrznej lub zewnętrznej stronie kotła, wszystko jedno której, udziel

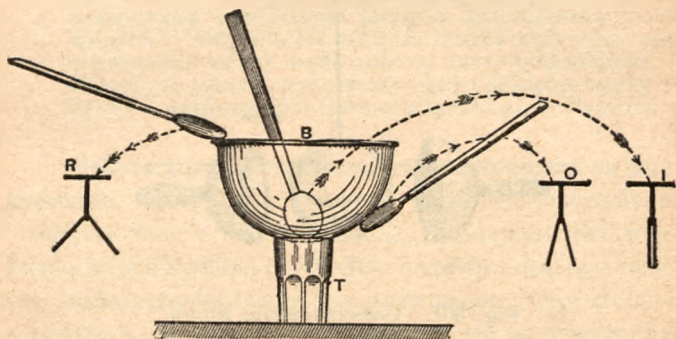


Fig. 308. Badanie rozmieszczenia ładunku na kotle metalowym.

ładunku. Teraz sprawdź stosunkowe rozmieszczenie ładunku za pośrednictwem krążka próbnego i elektroskopu. Widzimy (z załączonej wyżej figury), iż we wnętrzu nie ma żadnego ładunku; spory ładunek znajdujemy na okrągłej części strony zewnętrznej O, największy zaś na brzegu R.

2. Weź kapelusz (cylinder) i naczynie metalowe fig. 309. Umieść je na podstawach odosobniających. Udziel im ładunku za pośrednictwem kuli metalowej złączonej drutem z naładowaną butelką lejdejską, tak jak na obu figurach następnych. Sprawdzamy rozmieszczenie ładunku zapomocą krążka próbnego i elektroskopu i nie widzimy

ładnego ładunku na stronie wewnętrznej, cały zaś ładunek odepchnięty został na zewnątrz; przytem największa gęstość *) znaleziona została na ostrych brzegach powyższych przedmiotów.

3. Bierzymy worek bawełniany lub siatkę do chwytania motyli przyczepioną do obręczy drucianej i posiadającą rączkę izolującą. Do wierzchołka stołka, zgodnie z lewą fig. 310, przywiązujemy dwie nici jedwabne dobrze izolujące. Ładujemy siatkę z butelki lejdejskiej i badamy stronę wewnętrzną i zewnętrzną siatki zapomocą krążka próbnego i elektroskopu. Znajdujemy, iż ładunek przebywa wyłącznie na stronie zewnętrznej. Pociągawszy teraz za jedwabny sznurek przyczepiony do wnętrza, wywracamy w ten sposób wnętrze siatki. Sprawdzamy nanowo, gdzie się mieści ładunek i przekonywamy się, że podczas odwracania siatki cały ładunek zmienił swoje miejsce i teraz znajduje się na stronie zewnętrznej.

By zjawisko to zbadać jeszcze lepiej, Faraday zbudował dużą klatkę izolowaną i wszedł do jej środka ze swoim najczulszym elektroskopem. Wtenczas kazał naładować klatkę do takiego potencjału, że z zewnątrz otrzymywano wyładowania w postaci długich iskier elektrycznych. We wnętrzu tej przestrzeni nie mógł on wykryć żadnych śladów elektryzacyi wywołanej przez ładunki elektryczne lub zakłócenia wytwarzane nazewnątrz. Ciekawe to i uderzające zjawisko wskazuje, iż najcieńsza po-

*) *Gęstość elektryczna powierzchni* jest ilością elektryczności wziętą na jednostkę powierzchni. Później rozpatrzmy ją bliżej.

włoka metalowa chroni w zupełności ciała położone we wnętrzu jej od najpotężniejszej elektryzacji zewnętrznej. Na tej zasadzie powzięto myśl, by domy i prochywie za-

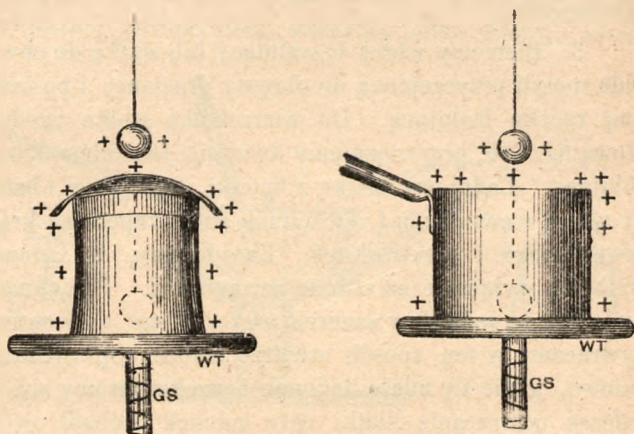


Fig. 309. Badanie rozmieszczenia ładunku na pustych ciałach.

bezpieczać w całości od piorunów przez proste otoczenie ich pewną liczbą drutów metalowych, stanowiących rodzaj

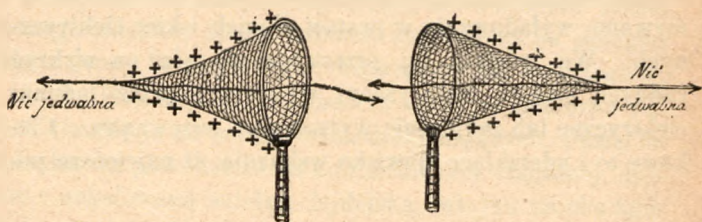


Fig. 310. Doświadczenie Faraday'a z siatką odwracalną, dowodzące, iż ładunek elektrostatyczny mieści się na zewnętrznej stronie pustego, izolowanego konduktora.

siatki otwartej, połączonych z ziemią. Wobec tego człowiek spoczywający na łożu metalowem i zasłonięty dobrą i ciężką firanką od moskitów powinien się czuć zabezpieczonym od piorunowych grotów Jowisza.

4. *Wyjątkowy wypadek.* Gdy naładujemy znowu jeden z pustych przewodników izolowanych widocznych na trzech powyższych figurach, a potem do jego wnętrza wpuszczymy kulę połączoną z ziemią, lecz nie dotykającą dna lub boków, tedy biorąc krążek próbny i dotykając nim wewnętrznej strony dna lub boków w pobliżu kuli, znajdziemy, iż część ładunku przeszła z zewnętrznej strony na wewnętrzną. Usuwamy kulę połączoną z ziemią i wtedy ładunek jest odepchnięty na zewnątrz. Obecność kuli wprowadza w grę wzajemne działanie i oddziaływanie indukcji, skutkiem czego ładunek wzbudza elektryczność różnoimienną na kuli i odpycha jednoimienną przez drut do ziemi. Brak kuli nie tylko sprawia, że wszystka elektryczność skutkiem naturalnego samoodpychającego działania ładunku zepchnięta jest na zewnątrz, lecz ładunkowi pozostawia swobodę oddziaływania indukcyjnego na wszystkie otaczające przedmioty zewnętrzne i przez to jeszcze mocniej wiąże się z powierzchnią zewnętrzną.

Gdy niema żadnych innych wpływów, rozmieszczenie zależy tylko od formy przewodnika. Doświadczenie XVI. 1. Bierzymy kulę izolowaną taką jak na figurze 311 po prawej stronie. Ładujemy tę kulę i sprawdzamy gęstość elektryczności w rozmaitych punktach zapomocą krążka próbnego i elektroskopu. Znajdujemy, iż jest ona wszędzie jednakowa.

2. Bierzemy długi przewodnik izolowany, taki jak na figurze po lewej stronie, i badamy jego ładunek w rozmaitych miejscach *).

3. Bierzemy ciało formy gruszkowatej wskazanej na figurze środkowej. Otrzymujemy w końcu zaostrowym o wiele większą ilość elektryczności niż w końcu okrągłym lub w środku. Pary kulek bżowych zawieszonych w rozmaitych okolicach wielkością swojego odchylenia wskazują również zgruba stosunkowe gęstości w tych miejscach. Widzimy linie kropkowane otaczające każdą z trzech figur. Odstępy pomiędzy powierzchniami ciał a liniami kropkowanymi graficznie wyobrażają gęstości ładunków w każdej okolicy. Gdybyśmy zawiesili małą kulkę bżową na długiej nici jedwabnej u pewnego punktu położonego na przedłużeniu pionowej średnicy kuli naładowanej tak, żeby kulka mogła się wahać naokoło konduktora w płaszczyźnie średnicy poziomej, wtedy po dotknięciu kuli i naładowaniu się kulka bżowa byłaby odepchnięta i gdyby poruszała się naokoło kuli bez wyladowania, zatoczyłaby koło, którego punkt środkowy przypadałby w środku konduktora; dowodzi to, że gęstość wzdłuż tej drogi jest jednostajna. Podniesiona nieco wyżej, kulka obracałaby się jeszcze w pewnej jednostajnej odległości od ciała. W podobny sposób, gdyby izolowana kulka bżowa została przysunięta

*) Fig. 286 (wykład XXVIII, str. 220) przedstawiają tę metodę sprawdzania. Tu zauważyć się godzi, iż w celu osiągnięcia możliwie zgodnych wyników należy przykładąć krążek próbny szczelnie do konduktora metalowego w miejscu zetknięcia i oddalać go pod kątem prostym czyli normalnie do powierzchni dotkniętej.

do innych ciał naładowanych, tedy (po zetknięciu się z nimi) zostałyby odepchnięta od nich na rozmaite odległości

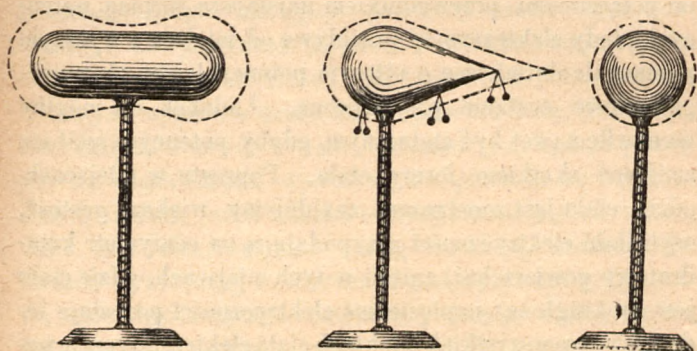


Fig. 311. Rozmieszczenie zależy od kształtu konduktorów.

zależne od ostrości kątów i części wystających, co wskazywałoby zgruba stosunkowe gęstości ładunku w każdym miejscu.

Potencjał, gęstość, wysił elektryczny i działanie ostrzy.
 Nie możemy się wdawać teraz w dłuższe rozprawy dotyczące tych nazw, czas na to nadejdzie dopiero na kursie wyższym, tymczasem uważamy za właściwe ostrzedz czytelnika, by nie przypuszczał przez chwilę, iż odstęp między liniami kropkowanymi a ciągłymi na tych trzech figurach mają coś wspólnego z przedstawieniem potencjału lub ciśnieniem ciała naładowanego. Rozmaite odległości, na które kulka bywa odpychana od jakiegokolwiek ciała, nie mają nic wspólnego z przedstawieniem względnych potencjałów, bo *potencjał jest ten sam we wszystkich częściach naładowanego przewodnika izolowanego, jakikolwiek*

jest jego kształt. Gdyby tak nie było, nastąpiłby ruch ładunku, bo jeżeli tylko zjawia się pomiędzy dwoma punktami połączonemi przewodnikiem najslabsza różnica potencyału, tedy elektryczność przepływa od miejsca o wyższym potencyale do miejsca o niższym potencyale, aż równowaga nanowo zostanie przywrócona. Ładunek nie mógłby na chwilę nawet być statecznym, gdyby potencjał miał się zmieniać skutkiem formy ciała. Prostu w miejscach, gdzie ciało jest zaostrome, znajdujemy większą gęstość, czyli ilość elektryczności przypadającą na centymetr kwadratowy powierzchni, aniżeli w tych miejscach, gdzie ciało jest zaokrąglone, napięcie zaś elektryczności pozostaje jednakowe we wszystkich punktach ciała elektrostatycznie naładowanego. Koniec końców, im wyższe jest napięcie ciała naładowanego, tym większa będzie gęstość w każdym punkcie tego ciała, lecz rozmieszczenie ładunku zależy *li tylko* od kształtu ciała, dopóki inne wpływy w pobliżu nie wywrą na nie swojego wpływu. W chwili gdy inne ciało zbliża się do naładowanego ciała, wszeczyna się indukcya i rozmieszczenie może ulegać zmianie. Naprzykład przybliżmy zgóry rękę do kuli naładowanej, a gęstość wnet znacznie się zwiększy od strony ręki, ponieważ część ładunku przybywa tam z innych okolic kuli (podług prawa indukcji); a mianowicie możliwie duża ilość przeciwnej elektryczności*) przyciągana jest do tej strony ręki, która znajduje się nawprost kuli, a równa ilość elektryczności jednoimiennej odpychana jest przez rękę i ciało do ziemi.

*) O ile pozwala na to położenie ciał otaczających i indukcya na nie wywierana.

Jeżeli usaniemy rękę, rozmieszczenie będzie określone jak poprzednio. Podczas gdy ręka znajduje się w pobliżu ciała naładowanego, następuje pomiędzy nimi wysił elektryczny, który przenosi się przez powietrze i stara się oba ciała przyciągnąć do siebie. W ciałach stałych i przymocowanych wysił ten działa na ich powierzchnię, lecz w ciałach stałych a nawet w wielu cieczach przyleganie pomiędzy ich cząsteczkami wystarcza do opierania się wysiłowi elektrycznemu, jeżeli różnica potencjału nie jest zbyt duża. Atoli gdy elektryzujemy bańkę mydlaną, możemy dostrzedz wyraźne jej rozszerzenie, pod wpływem połączonego samoodpychającego działania pomiędzy każdą częścią ładunku a wszystkimi innemi częściami tegoż oraz przyciągania pomiędzy tym ładunkiem a ładunkiem wzbudzonym na ciałach otaczających. Skoro uwolnimy bańkę, leci ona z przyspieszoną prędkością ku najbliższemu przedmiotowi, *ponieważ siła przyciągania jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości pomiędzy przyciągającymi się ładunkami.*

Doświadczenie XVII. 1. Przypuśćmy, iż w jedno z ciał narysowanych wyżej fig. 310 wbijamy igłę ostrzem na zewnątrz i do ostrza przysuwamy rękę na odległość jakich 10 cm, podczas gdy ciało izolowane wciąż otrzymuje ładunek o wysokim potencyale. Ręka doświadcza wrażenia laskotania, tak jakby strumień chłodnego powietrza dmuchał na nią. Jeżeli owo doświadczenie wykonywa się w ciemności, to daje się widzieć z ostrza igły jakby wiązka niebieskawego światła w kierunku ręki. Jednocześnie czujemy słaby zapach, przypominający fosfor i pochodzący ztąd, że podczas wyładowywania przez ostrza tlen

atmosferyczny częściowo zamienia się w ozon. Jeżeli przerwiemy ładowanie, rękę pozostawimy jeszcze w tym położeniu przez czas krótki, a potem zbadamy ciało elektroskopem, tedy znajdziemy, iż ono straciło swój ładunek.

2. Jeżeli zamiast wbijania igły w ciało będziemy ją trzymali w ręku zwróconą ostrzem do ciała, tedy wiązka światła wciąż jeszcze wychodzić będzie z igły, ciało zaś będzie się wyładowywało. Załączone figury i uwagi ilustrują oba te doświadczenia.

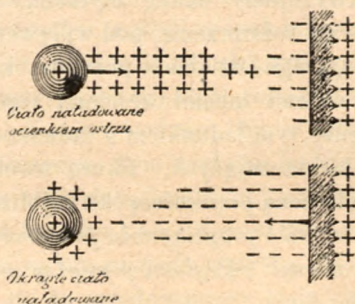


Fig. 312. Wyładowujące działanie ostrzy.

Tam gdzie gęstość ładunku jest znaczna, naprz. na cienkim ostrzu, powietrze stykając się z tym ostrzem, łąduje się do wysokości tego samego potencjału a ponieważ przyleganie między cząsteczkami powietrza jest bardzo małe, odchylenie zaś między rozmaitemi częściami ładunku znaczne, przeto powietrze odpycha się od tego ostrza i unosi ze sobą część ładunku przez konwekcyę*). Świe-

*) Tu zwrócić się należy do określenia danego w końcu wykładu XXIX. Owa konwekcyja elektryczności przez

że powietrze styka się z ostrzem i w ten sposób wciąż redukuje gęstość ładunku na ciecie, aż wszystka elektryczność zostanie usunięta. Cząsteczki naelektryzowanego powietrza napotykają rozmaite okolice powierzchni ciała, połączonego z ziemią, a ponieważ te ostatnie przez indukcję naładowane są przeciwnie, przeto wzajemnie się nawieczają.

3. Zajmujące to zjawisko może być okazane od oculos uczniów zapomocą odchylenia płomienia świecy C umieszczonej pomiędzy ostrzem igły białej w główny konduktor PC maszyny elektrycznej (albo inne ciało dodatnio naładowane, dostarczające ciągłego wyładowania o wysokim potencyale) a ciałem E połączonem z ziemią jak na figurze następującej. Jeżeli wetkniemy ostrze

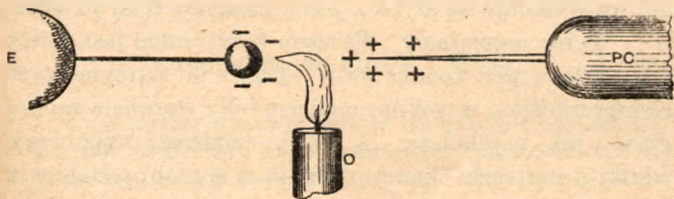


Fig. 313. Wyładowanie ciała zaostrego w kierunku ciała połączonego z ziemią, widoczne w odchyleniu płomienia świecy.

w ciało połączone z ziemią, konduktor zaś pozostaje okrągły, tedy płomień świecy odchyli się w stronę przeciwną

cząsteczki powietrza odbywa się i na konduktorach nie posiadających ostrzy, jeśli naładowane są elektrycznością o wyższym potencyale i powoduje stopniowy ubytek ich ładunku; przebieg ten zowiemy *rozpraszaniem elektryczności*.

czyli znowu od ostrza ku ciału zaokrąglonemu. Zjawisko to otrzymało nazwę *wiatru elektrycznego*. Wiatr ten wieje od strony, kędy istnieje największa gęstość i zmusza powietrze do unoszenia ładunku przez *konwekcję*.

4. Weźmy potartą laskę szklaną, ebonitową lub z innego jakiego materiału izolującego i przesuwajmy ostrze igły, trzymanej w ręku, w odległości kilku centymetrów od laski do góry i na dół. W ten sposób, nie dotykając się, pozbawimy izolator w zupełności ładunku.

5. Wetknijmy cienko zaostrzoną igłę w dziurkę zrobioną w krążku elektroskopu o listkach złotych i przysuńmy naelektryzowane ciało do tego ostrza; wtedy elektroskop naładuje się bez zetknięcia z krążkiem. A potem stopniowo elektroskop wyładowuje się znowu przez ostrze; lub też wyładowuje się szybko, jeżeli zbliżymy rękę do ostrza.

Teraz pojmujemy, dlaczego koniecznem jest, ażeby wszystkie części konduktorów służące do zatrzymywania elektryczności o wysokim napięciu były starannie zaokrąglone i jak najgładsze. A dalej, ponieważ najmniejsze włoski i cząsteczki kurzu działają w sposób podobny do ostrzy i do cząsteczek powietrza w ruchu, nieodzownem jest utrzymywanie przyrządów naszych w zupełnej czystości. Nie możemy oczekiwać pomyślnych wyników, jeżeli przyrządy są brudne i okryte kurzem, podobnież niema co myśleć o utrzymaniu ładunku o wysokim potencyale i znacznej gęstości na ciele, umieszczonym w atmosferze kurzu i przeciągów.

Zupełnie jak ostrza, choć może w stopniu jeszcze wyższym, działają płomienie i ciała tłące się. Najskuteczniejszym środkiem uwolnienia dobrego izolatora od elek-

tryczności, mieszczącej się na nim bardzo uporczywie, jest przeprowadzenie go tam i napowrót przez płomień połączony z ziemią.

Na zakończenie tego wykładu podajemy jeszcze prawo Coulomb'a, podług którego rozmieszcza się elektryczność, prawo, które później będzie jeszcze lepiej rozpatrzone.

Prawo rozmieszczania elektrostatycznego. *Każda jednostka ładunku odpycha każdą inną jednostkę tegoż ładunku z siłą, która jest odwrotnie proporcjonalną do kwadratu ich wzajemnej odległości.*

Jednostką ilości elektryczności jest ta, która w powietrzu odpycha równowartą i jednoimienną ilość, położoną w odległości jedność, z siłą jedność.

Pytania do wykładu XXXII.

1. Naczynie cynowe zostało izolowane i naelektryzowane; jeśli dotkniemy go w rozmaitych punktach monetą trzygroszową, przyklejoną do końca laski laku, jaka część naczynia odda monecie największą a jaka najmniejszą ilość elektryczności?

2. Koniec B drutu AB przyczepiony został do krążka elektroskopu o złotych listkach. Za pośrednictwem rączki izolującej zetknęliśmy drugi koniec A najpierw z zaokrąglonym a potem z zaostrozonym końcem konduktora gruszkowatego, izolowanego i naelektryzowanego. Opisz i wytłomacz ruchy listków elektroskopu.

3. W jakich warunkach możesz otrzymać ładunek na kuli metalowej wiszącej na nici jedwabnej, przez zetknięcie jej ze stroną wewnętrzną naładowanego naczynia metalowego?

4. Głębokie naczynie metalowe, naelektryzowane dodatnio, stoi na szklanej podstawie. Kula metalowa zawieszona na nici jedwabnej zetknięta została z elektroskopem o złotych listkach po zetknięciu go: a) najpierw ze stroną wewnętrzną a potem zewnętrzną naczynia; b) albo najpierw z zewnętrzną a potem wewnętrzną naczynia. Wypowiedz i wytłomacz działanie na elektroskop w każdym z tych wypadków.

5. Naelektryzowana kula metalowa, zawieszona na nici jedwabnej, w jednym wypadku została zetknięta z wewnętrzną stroną izolowanego naczynia metalowego, w drugim z zewnętrzną stroną. Jaki będzie wynik, skoro połączymy z elektroskopem a) kulę; b) naczynie.

6. By zabezpieczyć elektroskop o złotych listkach od wpływu działającej w pobliżu maszyny elektrycznej, wystarcza okryć elektroskop cienką tkaniną bawełnianą. Zkąd to pochodzi?

7. Elektroskop otoczono walcem z siatki drucianej, połączonej z ziemią. Jak się zachowają listki, jeżeli w pobliżu zostaną umieszczone ciała naelektryzowane? Uzasadnij swoją odpowiedź.

8. Cienkie ostrze, przyczepione do konduktora A, przysunięto do przewodnika naładowanego B. Jakie będzie działanie na B, jeśli A 1) będzie izolowany 2) nieizolowany.

9) Na suchej nici jedwabnej wisi pomarańcza, w którą wetknięto igłę do szycia ostrzem nazewnątrz. Zbliżono ciało naładowane a) od strony ostrza igły b) od strony przeciwniejszej. Powiedz i wytłomacz działanie elektryczne w każdym z tych wypadków.

10. Naelektryzowany przewodnik izolowany można wyładować, przysuwając go do ostrza igły trzymanej w ręku. Objasnij to.

11. Rurkę szklaną naelektryzowano przez potarcie jedwabiem. Następnie wzdłuż rurki od jednego jej końca do drugiego prowadzą w ręku igielkę do szycia, tak jednak, by

ostrze igły nie stykało się ze szkłem. Jakie będzie działanie i jak je objaśnić?

12. Izolowany przewodnik A naładowano elektrycznością. W bliskości A umieszczono konduktor B połączony z ziemią. Czy ładunek wzbudzony na B jest większy, równy lub mniejszy od ładunku na A? Uzasadnij swoją odpowiedź.

13. W jakich warunkach możliwem jest przenoszenie całego ładunku z jednego konduktora na inny izolowany?

14. Puste naczynie metalowe, odosobnione, naładowane elektrycznością dodatnią, znajduje się w pewnej odległości od innych przewodników. Kulka metalowa nienaładowana, wisząca na nici jedwabnej: 1) wprowadzona jest do naczynia bez zetknięcia z nim; 2) w jednej chwili połączona z ziemią i 3) oddalona. Powiedz, jak się zmienia jej potencjał podczas tych czynności.

15. Kawałek flaneli umieszczono na dnie naczynia metalowego izolowanego i połączonego drutem z gałką elektroskopu o listkach złotych. Teraz jeden koniec długiej laski laku potarto nanowo flanelą. Jakie wskazówki da nam elektroskop: 1) podczas pocierania go; 2) skoro oddalono łaskę laku?

16. Dwa elektroskopy o listkach złotych, pod każdym względem podobne do siebie z wyjątkiem tego, że z krążka jednego z nich wystaje igła, umieszczone zostały w równej odległości od maszyny elektrycznej. Gdy maszyna zaczęła pracować, obie pary listków rozchylają się. Skoro przestaje pracować, jedna para bardzo prędko opada, druga bardzo powoli. Objaśnij różnicę w ich zachowaniu.

17. W jaki sposób dowiedziesz doświadczalnie, że jeśli do wnętrza jednego zbieracza (kolektora) wprowadzony zostanie inny zbieracz naładowany bez zetknięcia z nim, tedy ładunek wzbudzony na konduktorze zewnętrznym równa się ładunkowi wzbudzającemu?

18. Półkuliste pudełko metalowe, do którego przyczepiono krótkie ostrze metalowe, naładowano elektrycznością.

Czy będzie jaka różnica w szybkości straty elektryczności w zależności od tego, czy ostrze to przymocowane jest do wklęsłej lub wypukłej strony pudełka?

19. Do doświadczeń z elektrycznością Faraday zbudował wielkie pudło drewniane, powleczone wewnątrz i zewnątrz cynfolią i izolował je zapomocą łożysk szklanych. Przypuśćmy, że we wnętrzu takiego pudła człowiek obraca maszynę elektryczną, której szczotki połączone są z wewnętrzną cynfolią pudła, podczas gdy główny konduktor połączony jest z krążkiem izolowanego elektroskopu o złotych listkach, który również znajduje się w pudle. Przypuśćmy również, że zewnętrzna cynfolia łączy się z innym elektroskopem izolowanym nazewnątrz pudła. Jakie działanie da się zauważyć na każdym elektroskopie? Udowodnij swoją odpowiedź.

WYKŁAD XXXIII.

Treść: Na gęstość powierzchniową wpływa obszar powierzchni. — Rozdział i ponowne rozmieszczenie ładunków. — Wypadek kul równych. — Wypadek kul nierównych. — Określenie pojemności. — Stosunek pomiędzy pojemnością, ilością i różnicą potencjału. — Maszyna Winter'a o tafli szklanej. — Budowa, działanie i teoria. — Połączenie z ziemią konduktora głównego i odosobnienie konduktora ubocznego. — Krótkie połączenie pomiędzy konduktorem głównym a ubocznym. — Izolowanie głównego i ubocznego konduktora. — Inne maszyny elektryczne o wysokim napięciu. — Pytania.

Na gęstość powierzchniową wpływa obszar powierzchni
Doświadczenie XVIII. 1. Urządzmy przyrząd tak, jak wskazuje załączona figura*), poczem za pośrednictwem rączki H rozwijamy płat cynfolii na całą długość. Ładujemy cynfolię z elektroforu lub butelki lejdejskiej. Obwijamy płat naokoło izolowanego walca szklanego i ostrzegamy rosnące rozchylenie listków. Teraz obniżamy cynfolię i widzimy, iż listki wracają do swojego dawnego rozchylenia.

2. Obwijamy luźno pewną ilość bardzo cienkiego i giętkiego drutu, pasek cynfolii lub łańcuszek o małych ogniwkach naokoło krążka elektroskopu. Ładujemy elektroskop, aż listki rozejdą się na umiarkowaną odległość.

*) Można by zaimprovizować urządzenie to, biorąc do ręki laskę ebonitową lub szklaną, z której zwiesza się płat cynfolii, obciążony u dołu. Przed i po nawinięciu cynfolii prześlij ładunki do elektroskopu i z powiększenia odchylenia sądz o wzroście gęstości.

Teraz zapomocą pręta izolowanego zaczynamy podnosić drut, pasek cynfolii lub łańcuszek coraz wyżej, nie przerywając jednak zetknięcia z elektroskopem. Widzi-

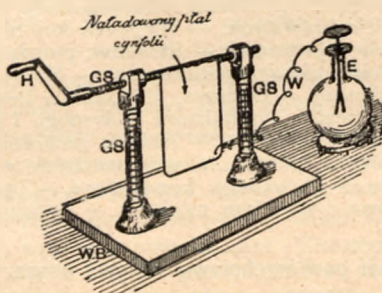


Fig. 314. Rozległość powierzchni wpływa na gęstość ładunku.

my, iż listki stopniowo się schodzą. Obniżamy przewodnik i wtedy listki wracają do swojego dawnego rozchylenia.

3. Po naładowaniu elektroskopu kładziemy za pośrednictwem rączki izolującej lub cęgów cylinder lub naczynie cynowe na krążku elektroskopu. Widzimy, iż rozchodzenie listków zmniejsza się.

Z tych prostych doświadczeń wysnuwamy wniosek naturalny, że w ogólności gęstość dla stałego ładunku zmienia się w stosunku odwrotnym do powierzchni.

Rozdział i ponowne rozmieszczenie ładunków. Jeżeli usuniemy z konduktora izolowanego zapomocą krążka próbnego część jego ładunku tak daleko, iż się ona znaj-

dzie po za obrębem jego pola elektrycznego*), wtedy ładunek sam się przemieszcza na powierzchni przewodnika w ten sam określony sposób, co ładunek pierwszy, lecz z gęstością zmniejszoną.

Wypadek kul równych. Przypuśćmy, że bierzemy dwie kule izolowane *jednakowej* wielkości i ładujemy jedną z nich elektrycznością równą 10 jednostkom, potem stykamy ją z drugą kulą nienaładowaną i wreszcie oddzielamy je od siebie; wtedy sprawdzając je, znajdziemy, że ładunek podzielił się na dwie równowarte ilości po 5 jednostek w każdej. Albo gdyby obie kule jednakowe zostały od początku naładowane, wtedy otrzymalibyśmy elektryzacye na obu w stosunku średniej arytmetycznej z obu ładunków pojedynczych. Naprzykład, niechaj jedna kula posiada ładunek + 40 jednostek, druga + 20 jednostek, wtedy po zetknięciu i rozłączeniu każda posiadać będzie + 30 jednostek.

$$\text{Bowiem } \frac{40 + 20}{2} = + 30.$$

Znowuż niechaj jedna kula posiada ładunek + 40 jednostek, inna zaś — 20. Po zetknięciu i odsunięciu każda mieć będzie + 10 jednostek.

$$\text{Bowiem } \frac{40 - 20}{2} = + 10.$$

Wypadek kul nierównych. Skoro zajmujemy się dzieleniem ładunków pomiędzy kulami jednakowej wielkości, powinniśmy mieć na uwadze ich *stosunkowe pojemności*.

*) Pole elektryczne jest okolicą lub środowiskiem otaczającym ciało naelektryzowane, przez które przesyłane są wysiłki elektryczne.

By sobie wyjaśnić dobrze znaczenie tej nazwy na drodze elementarnej, musimy uciec się do przykładu analogicznego. Przypuśćmy, że mamy dwa naczynia uszczelnione od powietrza, z których jedno, w porównaniu z drugim, ma *podwójną pojemność*, każde zaś naczynie posiada swój kran. Dajmy, do większego naczynia ładujemy 30 jednostek powietrza pod ciśnieniem 3-ch atmosfer, z mniejszego zaś wyciągamy wszystko powietrze, czyli utrzymujemy stan ciśnienia 0 albo zupełną próżnię. Teraz połączmy oba naczynia bardzo krótką i wąską rurką, której pojemność jest bez znaczenia, otwieramy oba krany i powietrze rzuca się z większego naczynia do mniejszego, aż równowaga nastąpi — czyli aż oba naładują się powietrzem *pod tym samym* ciśnieniem. Zamykamy oba kurki i odłączamy rurkę. Gdy zbadamy teraz przez staranne zważenie ilość powietrza zawartego w każdym naczyniu, oraz ciśnienie zapomocą manometru, znajdziemy wtedy, iż pierwotna *ilość powietrza* w naczyniu większym podzieliła się między naczynia w stosunku prostym do ich *pojemności* i ciśnienie zredukowało się w stosunku siły pojemności obu naczyń do pojemności naczynia większego. A zatem

Suma pojemności : Pojemność większego = Suma ilości :
Ostateczna ilość w większym

$$(2 + 1) : 2 = 30 : x$$

$$x = \frac{2 \times 30}{2 + 1} = 20 \text{ jednostek.}$$

Suma pojemności : Pojemność mniejszego = Suma ilości :
Ostateczna ilość w mniejszym

$$(2 + 1) : 1 = 30 : y$$

$$y = \frac{1 \times 30}{2 + 1} = 10 \text{ jednostek}$$

$$\frac{x}{y} = \frac{20}{10} = \frac{1}{2} = \frac{\text{Pojemność większego}}{\text{Pojemność mniejszego.}}$$

Czyli *ponieważ pojemność większego naczynia jest dwa razy większą od pojemności mniejszego, przeto po rozmieszczeniu ponownie zawiera ono ilość dwa razy większą od naczynia mniejszego.*

A potem

Suma pojemności : Pojemność większego = Ciśnienie
w większym : Ciśnienie w obu

$$(2 + 1) : 2 = 3 : z$$

$$z = \frac{2 \times 3}{(2 + 1)} = 2 \text{ atmosferom ciśnienia w każdym.}$$

Ciśnienie zredukowane zostało z 3 atmosfer do 2 atmosfer, czyli w stosunku 3 : 2, albo w stosunku sumy pojemności obu naczyń do pojemności większego.

Skoro weźmiemy dwa przewodniki tego samego kształtu, lecz rozmaitej wielkości i naładujemy mniejszy od większego, tedy ładunek podzieli się pomiędzy nimi w stosunku prostym do ich pojemności, potencjał zaś czyli napięcie spadnie w stosunku sumy ich pojemności do pojemności większego. Mamy bowiem definicyę: *Pojemność konduktora jest stosunkiem ilości elektryczności do potencjału (czyli, pod względem liczebnym, jest-to ilość elektryczności potrzebna do naładowania konduktora do potencjału jedność).*

Niechaj C oznacza pojemność (Capacity), Q ilość elektryczności i V — potencjał; wtenczas

$$C = \frac{Q}{V} ; Q = VC ; V = \frac{Q}{C} .$$

(A zatem ilość ładunku równa się potencjałowi pomnożonemu przez pojemność). Lecz pojemności kul nie są proporcjonalne do ich powierzchni*, ale do ich promieni**). Dowodzenie tego prawa byłoby zatrudne dla niniejszego kursu, lecz uczeń zrozumie

*) Powierzchnia kuli $= 4\pi r^2$, gdzie π jest stałym stosunkiem obwodu do średnicy, zaś r jest promieniem; zatem powierzchnie kul proporcjonalne są do kwadratów ich promieni.

**) Gdy bowiem izolowana kula przewodząca położona jest zdala od innych przewodników i posiada ładunek elektryczny Q , tedy jej potencjał jest $V = \frac{Q}{R}$ gdzie, R oznacza promień kuli (patrz wykład XXV).

z tego, czego się nauczył na ostatnim wykładzie, że jeśli bardzo małą kulę nienaładowaną zetkniemy z większą naładowaną, wtedy mniejsza w rzeczywistości zachowa się tak, jakby to był zastrzony koniec większej kuli. Przy odsuwaniu mniejsza kula zabiera ze sobą ową większą gęstość. Potencjał dużej nieco opada, aż wreszcie na obu kulach stanie się jednakowym.

Naprz. weźmy kulę o promieniu 5 cm naładowaną ilością 30 jednostek i zetknijmy ją (za pośrednictwem długiego cienkiego drutu) z kulą o promieniu 2,5 cm. Jaka będzie całkowita ilość i gęstość na każdej kuli po ich rozłączeniu?

Suma pojemności : Pojemność większej = Suma ilości :
Ostateczna ilość na większej.

Suma promieni : Promień większej = Suma ilości : Ostateczna ilość na większej

$$(5 + 2,5) : 2 = 30 : x$$

$$x = \frac{2 \times 30}{5 + 2,5} = 20 \text{ jednostek.}$$

Pozostaje więc 10 jednostek na mniejszej.

Czyli stosunek ich ładunków (przy jednakowym potencyale)

$$= \frac{20}{10} = \frac{5}{2,5} = \frac{\text{promień większej}}{\text{promień mniejszej}}$$

Całkowita ilość na dużej jest dwa razy większą od ilości na małej.

Widzieliśmy jednak poprzednio, że

$$\text{Gęstość} = \frac{\text{Całkowita ilość na powierzchni}}{\text{Powierzchnia}}$$

$$\frac{\text{Gęstość na dużej kuli}}{\text{Gęstość na małej kuli}} = \frac{\frac{20}{4\pi r_1^2}}{\frac{10}{4\pi r_2^2}} = \frac{20/r_1^2}{10/r_2^2} = \frac{20/25}{10/6,25} = \frac{0,8}{1,6} = \frac{1}{2}$$

Gęstość przeto na dużej kuli wynosi tylko połowę gęstości na małej, czyli odwrotnie jest do ich promieni. Gdybyśmy używali kul jeszcze bardziej różniących się wielkością, gęstość na małej byłaby odpowiednio większa, co dowodzi, że ostrza wywołują zbieranie się ładunku na nich lub w pobliżu.

Niechaj dalej potencjał większej kuli przed zetknięciem będzie V ; po zetknięciu zaś i oddzieleniu zredukowany został do V_1 , skąd

$$\begin{aligned} \text{Suma pojemności : Pojemność większej kuli} &= \text{Potencjał} \\ &\text{większej : Potencjał obu} \\ (5 + 2,5) &: 2 = V : V_1 \\ \frac{V}{V} &= \frac{5 + 2,5}{2} = \frac{3}{2} \end{aligned}$$

Potencjał zredukowany został w stosunku 3 do 2 czyli w stosunku sumy ich pojemności do pojemności większej kuli.

UWAGA. Pragniemy bardzo, by czytelnik porównał starannie dwa powyższe przykłady arytmetyczne dla powietrza i elektryczności. Należy tu zestawzić pojemność obu naczyń z pojemnością elektryczną konduktorów, ciężar lub ilość powietrza z ilością elektryczności i ciśnienie powietrza z potencjałem elektrycznym. Widzimy dalej, iż gęstość elektryczna nie znajduje odpowiednika sobie równego. Wszak gęstość elektryczna jest proporcjonalną do potencjału, jeśli nie zmienia się powierzchnia i pojemność jakiegokolwiek danego konduktora.

$$\text{Gęstość bowiem} = \frac{\text{Ilość}}{\text{Powierzchnia}}$$

albo

$\sigma = \frac{Q}{F}$ i $V = \frac{Q}{C}$ czyli gęstość i potencjał, oboje są proporcjonalne do ilości, jeżeli powierzchnia i pojemność się nie zmieniają. A zatem gęstość powietrza

$$\sigma = \frac{C}{F} \cdot V \text{ również jest proporcjonalną do ciśnienia.}$$

Maszyny elektryczne oparte na tarcu. Teraz uczeń jest już w stanie zrozumieć maszyny tego typu, które pozwalają otrzymać ilości elektryczności większe od tych, jakie dają się otrzymać przez pocieranie trzymanego w ręku pręta szklanego lub zapomocą elektroforu. Od

pierwszej do ostatniej napotykamy tu wielką rozmaitość form; atoli wszystkie składają się z trzech zasadniczych części: narzędzia do pocierania (pocieracz, nacieradło), ciała pocieranego, i zbieracza elektryczności albo *konduktora*. Ponieważ wszystkie dają się wytłomaczyć na zasadzie jednego i tego samego rozumowania, przeto zatrzymamy się na jednej tylko formie t. zw. maszynie taflowej Winter'a. Zanim opiszemy ten przyrząd, zauważymy, iż pierwsza maszyna przez tarcie zbudowana została A. D. 1671 przez Ottona v. Guericke z Magdeburga, tego samego, co wynalazł pompę powietrzną. Składała się ona z kuli siarkowej osadzonej na osi opartej w łożyskach i obracana była ręcznie przez jedną osobę, podczas gdy druga przyciskała suche powierzeźnie rąk do kuli. Wzbudzało to, rzecz prosta, elektryczność odjemną w kuli, podczas gdy dodatnia uchodziła przez ręce do ziemi. Na słupku izolowanym wisiał łańcuch, który dotykał drugiej strony kuli; w ten sposób odjemna elektryczność zbierała się i była odprowadzana tam, gdzie była potrzebną do celów doświadczalnych. Sir Izaak Newton (lub Hawksbee około r. 1709) zastąpił kulę siarkową przez kulę ze szkła. Boze r. 1741 dodał główny konduktor. Prof. Winkler z Lipska wprowadził szczotki skórzane zamiast rąk. Gordon z Erfurtu obmyślił walec ze szkła zamiast kuli. Około r. 1760 Planta i inni używali tarcz szklanych. Bardzo niedawno z powodzeniem zaczęto używać tarcz ebonitowych.

Maszyna o tafli szklanej Winter'a. *Budowa.* Z następującej figury i objaśnienia części czytelnik zobaczy, iż nowożytna forma tego przyrządu składa się z okrą-

głej tafli szklanej GP o średnicy 60 lub więcej centymetrów przy grubości 6 do 10 mm; w środku tafli znajduje się okrągły otwór blisko 4 cm średnicy. W otworze tym przechodzi mocny wał, w środku grubszy i opatrzone w gwint; w tym miejscu wał za pomocą dwu krążków mosiężnych, przyśrubowanych z każdej strony tafli i podłożonych obręczkami gumowymi, spojony jest mocno z taflą. Wał spoczywa na dwóch łożyskach odosobnionych od drewnianej podstawy WB słupkami szklanymi GS*). W jednym końcu wału osadzona jest korba H. W przerwie między dwoma szklanymi słupkami, na których spoczywają łożyska, do podstawy przytwierdzony jest inny słup szklany, zakończony u góry dwiema mocnymi poprzecznikami z drzewa, po jednej z każdej strony tafli szklanej. Do poprzecznic tych przymocowana jest wysuwana rama z drzewa powleczone od strony wewnętrznej skórą amalgamowaną, technicznie zwana *pocieraczem* (nacieradłem). Do tylnej strony

*) Słupki te zazwyczaj pokrywane są najlepszym pokostem werniksowym w celu zabezpieczenia powierzchni od osadzającej się na niej wilgoci, która osłabiłaby izolację a tym samym i sprawność maszyny. Izolacja wszystkich części maszyny powinna być starannie sprawdzona elektroskopem o listkach złotych przed użyciem maszyny, zwłaszcza gdy przez dłuższy czas stała bezczynną. Jeśli znaleziono, iż izolacja jest niewystarczająca, wtedy szellak należy usunąć spirytusem, szklane podstawy wytrzeć mocno flanelą, aż będą zupełnie czystymi i ciepłymi, a potem polakierować nanowo bezwodnym, najlepiej izolującym pokostem werniksowym. Jeszcze lepiej jest sporządzać podstawy z dobrze izolującego flintglasu, który nie wymaga lakierowania.

tych pocieraczy przymocowane są mocne, zakrzywione

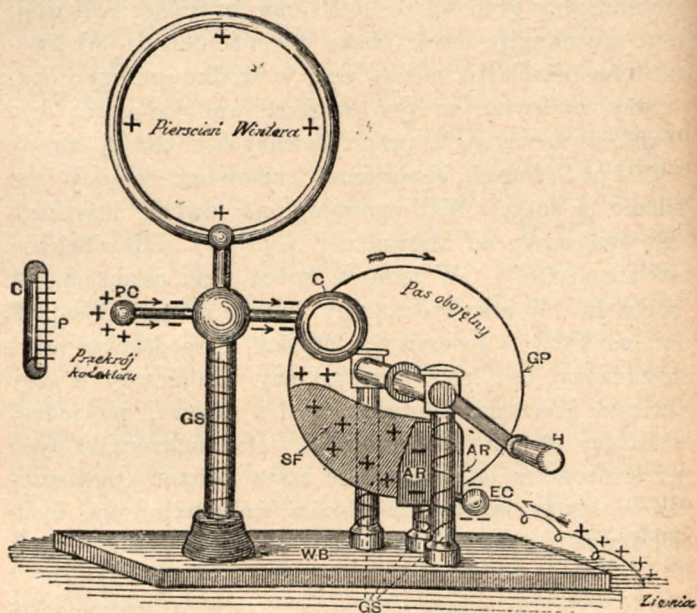


Fig. 316. Machina o tafli szklanej Winter'a.

Objaśnienie figury:

WB	oznacza	podstawę drewnianą
GS	"	słupy szklane
EC	"	drugi konduktor odjemny albo mniejszy
AR	"	pocieracze amalgamow. (z każdej strony po jednym)
SF	"	jedwabny płat (po jednym przy każdym pocieraczu)
GP	"	taflę szklaną
H	"	korbę (do obracania tafli GP)
C	"	kolektor (z każdej strony po jednym; patrz przekrój boczny)
EC	"	główny (dodatni) konduktor, na którym mieści się pierścień Winter'a.

sprężyny mosiężne, które połączone są przewodnikiem z kulą mniejszego konduktora EC. Drugi ten konduktor połączony jest łańcuchem lub drutem miedzianym z najbliższą rurą gazową lub wodociagową i przez to skomunikowany z ziemią. Sprężyny służą też do tego by przez swoją elastyczność przyciskać mocno pocieracze do obu stron tafli szklanej, nawet gdyby tafla niezupełnie była prawidłową. Jedwabne płyty SF, zwieszające się z prądów fiszbinowych lub ebonitowych, przyczepionych do ramy drewnianej każdego pocieracza, chronią taflę szklaną w miejscach naładowanych + od przyciągania cząsteczek kurzu lub włosków, które mogłyby rozproszyć ładunek w atmosferę, zanimby elektryczność dosięgła kolektora C. Zbieracz albo kolektor C utworzony jest z dwu drewnianych pierścieni (po jednym z każdej strony tafli szklanej) z igiełkowymi ostrzami P, osadzonemi w pasku mosiężnym w drzewie, zgodnie z widokiem kolektora na figurze bocznej. Skoro pierścienie są ustawione należyście, ostrza te zwrócone są do tafli szklanej w odległości około 1 cm; z głównym konduktorem PC połączone są poziomymi mosiężnymi sztabami, wkrębowanymi w dużą kulę mosiężną, która zajmuje wierzchołek długiego słupa szklanego GS, stojącego po lewej ręce. W górnej części kuli znajduje się stożkowaty otwór do przyjmowania ostro zakończzonego słupka, na którym mieści się pierścień metalowy obłożony drzewem, zwany pierścieniem Winter'a.

Działanie i teoria. Podczas obracania korby H w kierunku wytkniętym przez strzałkę u góry GP, tarcie pomiędzy amalgamowanymi pocieraczami AB a ta-

flą wytwarza elektryczność + na szkłe i — na pocieraczach. Elektryczność — spływa do ziemi czyli łączy się z +, która przybywa od ziemi przez łańcuch lub drut przewodzący i przez to się zobojętnia; w ten sposób przyrząd pocierający *zawsze* pozostaje *obojętny*. Ponieważ płat jedwabny SF zapobiega rozpraszaniu się w atmosferę elektryczności +, przeto ta ostatnia przylega do szkła aż do chwili, gdy znajdzie się wprost grzebienia P czyli szeregu ostrzy na kolektorze C, na których wzbudza równowartą ilość elektryczności — o znacznej gęstości, odpychając zarazem + do głównego konduktora i pierścienia Winter'a. Strumień elektryczności — z ostrzy przebiega do elektryczności + na tafli, którą w całości zobojętnia czyli niweczy; tym sposobem górna część tafli staje się *obojętną* aż do chwili, gdy znowu znajdzie się naprzeciwko obojętnego pocieracza, poczem to samo działanie się powtarza. Pierścień Winter'a jest poprostu środkiem pomocniczym, służącym do powiększenia powierzchni i pojemności głównego konduktora. Daje się on zastąpić przez konduktor lub butelkę lejdejską (patrz wykład następny).

Połączenie głównego konduktora z ziemią oraz izolowanie mniejszego konduktora. Jeżeli chcemy wydobyć z maszyny tej elektryczność —, powinniśmy zdjąć z EC ładunek lub drut przewodni i zawiesić na PC. Elektryzacya — na pocieraczach ładuje EC odjemnie, podczas gdy + na szkłe przyciąga — z ziemi przez łańcuch, PC i ostrza P. Jeżeli potrzebujemy znacznej ilości elektryczności, tedy łączymy EC z jedną zbroją konduktora

lub butelki lejdejskiej, zaś drugą zbroję butelki łączymy z ziemią (patrz o tem wykład następny).

Krótkie połączenie obu konduktorów maszyny. Gdybyśmy połączyli główny konduktor i konduktor idący do ziemi maszyny ze sobą czyli *połączyli je krótko*, jak mawiają technicy, tedy *nie mielibyśmy* już wtedy na nich zgola *wolnego ładunku*; bo elektryczność + zostałaby wtedy całkowicie odprowadzoną do równowartej i przeciwniej — konduktora idącego do ziemi, przez co obie zniweczyłyby się, pozostawiając konduktor główny obojętnym. Jeżeli oba konduktory jednocześnie połączone są z ziemią, tedy ostatnia dostarcza równowartych ilości elektryczności —, która niweczy + wytworzoną na głównym konduktorze, oraz elektryczności + niweczającą — wytworzoną na pocieraczu, co sprawia, iż oba konduktory główny i połączony z ziemią stają się obojętnymi *).

*) Wielce pouczającym może być połączenie głównego i ubocznego konduktora półprzewodnikiem, jakoto suchym sznurem konopnym blisko 1 m długim poziomo, do którego przywieszona się 5 wahadełek z drzewa bżowego: dwa po końcach, jedno w środku i dwa w punktach o $\frac{1}{4}$ odległych. Podczas obrotu maszyny wahadelka w końcach sznura rozchodzą się mocno, w punktach ćwiartkowych słabo i w środku wcale się nie rozchodzą; tym sposobem znajdujemy, że środek jest obojętny, czyli napięcie jest tam żadne, podczas gdy od środka w obie strony jednostajnie rośnie tak, że jedna połowa sznura połączona z konduktorem — staje się —, ta zaś, która się łączy z konduktorem + jest +. Skoro tylko jeden z konduktorów sprowadzimy do ziemi, wahadelka w tym końcu sznura zaraz opadną, a rozchodzenie stopniowo będzie rosło, aż do drugiego końca,

Izolacya obu konduktorów głównego i mniejszego. Przez pocieranie szkła pocieraczami amalgamowanemi można wytworzyć jedynie określoną całkowitą różnicę potencyału, którato granica może być osiągnięta tylko wtedy gdy izolacya maszyny jest koskonała. W razie uchodzenia potencyał osiągnięty zawsze jest mniejszy od możliwego maximum. Gdy donduktor mniejszy połączony jest z ziemią, to różnica owa potencyału jest wyłącznie + czyli wyższa od zera ziemi; lecz jeżeli i konduktor mniejszy jest starannie izolowany, wtedy całkowita różnica potencyału składa się z określonego + potencyału (nad potencyałem ziemi) na tafli szklanej tu-

gdzie jest blisko dwa razy większe jak wpierw. Mamy tu zupełne podobieństwo do ogniwa voltaicznego, którego bieguny + i — połączone zostały drutem; gdy oba bieguny są odosobnione, w środku niema żadnego napięcia i t. d. Jednakże *różnica napięcia* pomiędzy końcami przewodnika przytem zawsze pozostaje ta sama (porównaj odpowiednie rozdziały części II, zwłaszcza o prawie Ohm'a).

W ogólności w doświadczeniu tym maszyna do elektryzowania różni się od ogniwa voltaicznego tylko co do ilości i różnicy napięcia elektryczności. Gdy bowiem w części zewnętrznej obwodu przewodzącego a mianowicie w sznurze konopnym elektryczność + przepływa od konduktora + do konduktora —, elektryczność +, która się tworzy na pocieraczu maszyny, przez obrót tafli szklanej odprowadza się do konduktora +; a zatem przebieg prądu w części wytwarzającej na podobieństwo zamkniętego ogniwa jest odwrotnym do przebiegu w przewodzie zewnętrznym. *Atoli ogniwo skutkiem chemicznego działania dostarcza bardzo wiele elektryczności o niewielkim napięciu, maszyna zaś elektryzująca przez tarcie wytwarza tylko bardzo niewiele elektryczności o wysokim napięciu.*

dzień równowartego potencjału — (poniżej potencjału ziemi) na narzędziu do pocierania. Skoro osiągnięto w maszynie ową całkowitą różnicę potencjału, tedy machina przestaje już wytwarzać elektryczność, ponieważ główny konduktor już nie wyładowywuje elektryczności—na szkłe. Skutkiem niewielkiej pojemności narzędzia pocierającego ładunek — jest na nim ograniczony, niewielki i odpowiednio ładunek + na głównym konduktorze. Gdy wydobywamy iskry z głównego konduktora lub łączymy go na chwilę z ziemią, wtedy już osiągamy stan rzeczy, wobec którego cała różnica potencjału dająca się otrzymać jest odjemna czyli niższa od potencjału ziemi i główny konduktor nadal nie będzie już wydawał iskier. Skoro połączymy drutem jeden konduktor izolowany z ciałem izolowanym, zaś drugi z innym ciałem izolowanym, naprz. zewnętrzną i wewnętrzną zbroją izolowanej butelki lejdejskiej lub kondensatora (patrz wykład następny), wtedy ciała te albo zbroje ładują się aż do pełnej różnicy potencjału, jaką machina może wytworzyć, jeżeli tylko tatli szklanej nadamy liczbę obrotów dostateczną, by teraz przy powiększonej pojemności przyrządy te były w zupełności napelnione.

Machiny przenosząco-indukcyjne albo influencyjne.— (zwane także elektroforowemi. Uw. t!).

W maszynie opartej na tarcii przeważna część użytej pracy mechanicznej przeistacza się nie w energię elektryczną, lecz w ciepło. Przy wielkim wtedy nakładzie pracy otrzymujemy tutaj tak małe ilości elektryczności, że naprz. ładowanie większych baterij butelek lejdejskich (patrz wykład najbliższy) staje się nader

uciążliwym i marudnym. O wiele pomyślniej (z wyjątkiem induktora do isker, o którym później powiemy) działają w tym kierunku t. zw. *machiny influencyjne*, (Holtza, Töpler'a, Leyser'a, Voss'a, Varley'a i Wimshurst'a). Przeważną część pracy zużytej otrzymujemy tu

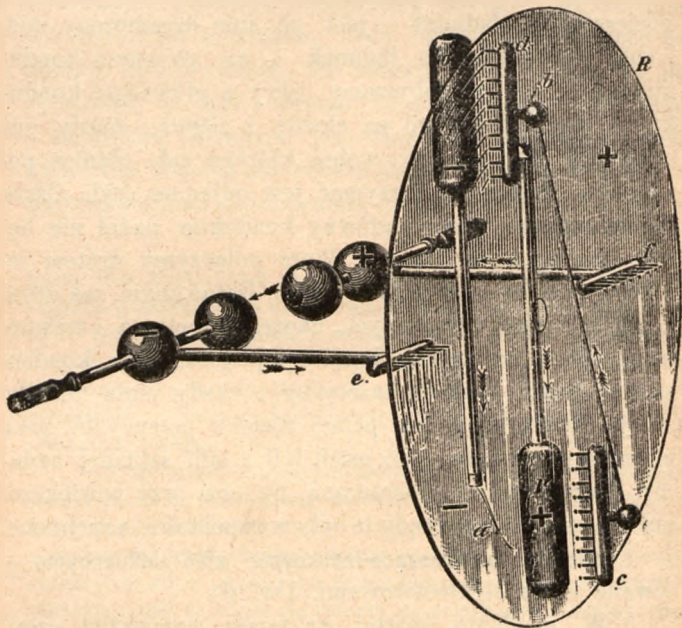


Fig. 318. Machina influencyjna podług Weinhold'a.

w postaci energii elektrycznej, co też postrzegamy zaraz, jeżeli obracamy maszyny te najpierw w stanie niewzbudzonym a potem wzbudzonym: w drugim wypad-

ku czujemy, iż musimy znacznie więcej użyć pracy by otrzymać jednostajny ruch maszyny.

Z powodu prostoty działania opiszemy tu budowę maszyny Leyser'a pracującej według zasady Holtza a zmniejszonej przez Weinhold'a. Załączona figura jest widokiem w perspektywie głównych części tej maszyny, w której podstawa wraz z mechanizmem poruszającym i słupami konduktorów gwoździ przejrzystości zostały opuszczone. Zwierciadłana tafla R blisko 3 mm gruba (o średnicy 45 cm), powleczone z obu stron lakierem dobrze izolującym, spoczywa na wale, który obracany jest bardzo szybko zapomocą sznura nieskończonego, w kierunku wskazówek zegarka (a więc w kierunku edfc). Przed taflą u góry i u dołu znajdują się dwa wałki mosiężne d i e, które skutkiem przyśrubowania do żelaznej podstawy maszyny, połączone są przewodnikiem ze sobą oraz z ziemią; od strony tafli osadzona jest na nich pewna liczba ostrzy. Od strony tylnej kręgu szklanego wprost tych grzebieni oddzielone tylko grubością tafli znajdują się dwa cylindry o i p z twardego drzewa, starannie zaokrąglone i polerowane. Od górnego o spuszcza się po słupku flintglasowym cienki pasek staniolu, który łączy się z ostrzem a z cienkiej blachy miedzianej. Z tyłu tafli umieszczone są wprost siebie w kierunku średnicy poziomej dwa ssące grzebienie e i f, które połączone są prętami mosiężnymi z dwiema starannie izolowanymi na słupach flintglasowych kulami konduktorów z mosiądzu. W tych ostatnich znajdują się poziome sztaby mosiężne ruchome, których końce zewnętrzne opatrzone są w ręczki ebonitowe a od wnę-

trza w kule mosiężne, które dają się zbliżać aż do zetknięcia lub oddalać aż na odległość blisko 17 cm. Aby machinę wprowadzić w ruch, rozsuwamy kule konduktorów na jakie 5 cm, następnie elektryzujemy płytkę ebonitową odjemnie przez pocieranie flanelą i obracamy taflę szklaną, przytrzymując przez ten czas płytkę ebonitową między o a taflą. Wówczas słyszymy szelest i wiązka słabych pasem światła ukazuje się pomiędzy kulami, które przeistaczają się w ostre, pojedyncze iskry blisko 17 cm długie, jeżeli każdy z konduktorów jeszcze połączymy z wewnętrzną zbroją dwóch małych butelek lejdejskich, których zbroję zewnętrzną odprowadzamy do ziemi. Teraz można wzbudzającą płytkę ebonitową odjąć, poczem otrzymujemy tak długo strumień isker, dopóki tylko obraca się tafla. Teorya jest następująca. Elektryczność — ebonitu wywołuje w ostrzach elektryczność + (poznaje się to w ciemności po cienkich wiązках światła, promieniujących z ostrzy ku kręgowi szklanemu, w kierunku odwrotnym do jego ruchu; figura to objaśnia), która spływa ku przedniej stronie tafli R i czyni ją dodatnią pomiędzy d i c. Dodatnia elektryczność, mijając ostrze b, wywołuje najpierw promieniowanie pewnej ilości elektryczności — na tylną stronę tafli, skutkiem czego mała ilość — wiąże się na stronie przedniej; wobec tego drewniany cylinder p elektryzuje się dodatnio. Główna część + mija wszakże f i wywołuje tam promieniowanie wzbudzonej elektryczności —, przyczem konduktor na prawo połączony z f staje się elektrododatnim. Skutkiem tego wszystka elektryczność + na przedniej stronie tafli pomiędzy f a c

związana jest przez — na tylnej stronie. Podczas mijania dolnego ssącego grzebienia c, przez działanie influencyjne dolnego cylindra drewnianego p, teraz elektrododatniego, z ostrzy pierwszego na przednią stronę tafla promieniuje elektryczność —, która zobojętnia znajdującą się tam +. Przez to na tylnej stronie wyzwała się elektryczność —, wywołuje najpierw podczas mijania ostrza promieniowanie +, przyczem mała ilość elektryczności —, obecnej na tafla, zobojętnia się, zaś górny walec drewniany o staje się elektrodjemnym. Lecz przeważna ilość — mija ssący grzebień e, wywołuje tam promieniowanie wzbudzonej elektryczności +, która zobojętnia — na tafla, tak że ta ostatnia pomiędzy e i d znowu staje się zupełnie nieelektryczną. Konduktor lewy połączony z e skutkiem tego staje się elektrodjemnym. Teraz następuje pomiędzy dwoma konduktorami przy dostatecznym napięciu ponowne połączenie się obu elektryczności w postaci wiązek światła (albo iskier). Można już usunąć krążek ebonitowy, ponieważ zastępuje go obecnie elektrodjemny cylinder drewniany, maszyna zaś działa dalej w sposób powyższy, dopóki obraca się tafla R. Podczas biegu maszyny w ciemności widzimy, że z obu grzebieni d i e promieniuje elektryczność + na ostrzach e i f, a zaś wysyłających elektryczność —, pokazują się małe niebieskawe punkciki świetlne.

Podczas biegu maszyny elektryczność + porusza się od ziemi ku d, przez powietrze do tafla R, razem z nią do f, poczem przez szkło (w postaci polaryzacji dielektrycznej, która będzie wyłożona na wykładzie XXXV,

przez powietrze do *f* i do konduktora $+$, z kąd przez powietrze do konduktora $-$ i do *e* a potem przez powietrze do tafl *R*; przez ten czas równa ilość elektryczności — dostaje się z ziemi do *c*, przez powietrze na taflę *R* i razem z nią do *e*, przez *R* i przez powietrze do *e*, gdzie obwód prądu zamyka się. Oprócz tego głównego obwodu mamy podczas biegu maszyny z powodu wadliwej izolacyi wałków *o* i *p* oraz rozpraszania się ich ładunku w powietrzu jeszcze dwa uboczne obwody prądu a m: ziemia $\rightarrow$ *d* $\rightarrow$ *R* wraz z *R* do *b*, przez szkło do *b* i *p* $\rightarrow$ ku ziemi, i ziemia $\rightarrow$ *o* $\rightarrow$ *a*, jednocześnie zaś od ziemi $\rightarrow$ *c* $\rightarrow$ *R* i wraz z *R* do *a*, przez szkło $\rightarrow$ *a*. Lecz prądy te przy dobrym biegu maszyny mogą być tylko bardzo słabe.

Machina influencyjna zbudowana na zasadzie podobnej po raz pierwszy przez Holtza r. 1867 wymaga przede wszystkim wzbudzenia przez elektryczność wywołaną nazewnątr. Działalność jej daje się przyrównać do działalności elektroforu. Nieco wcześniej Töpler wynalazł maszynę o samoistnym wzbudzeniu. W formie pierwotnej kręcące się taflę powleczone były poczęści staniolem, po którym ślizgają się cienkie pęczelki z drutu; maszyna ta wprawia się w ruch już przez najslabsze nawet ładunki, jakie się otrzymują przy tarcu penzelka, nie mogące jednak wywołać promieniowania ostrzy, (podobnie jak dynamomaszyna przez ślady magnetyzmu pozostającego, patrz część II). Działanie tych maszyn polega na działaniu kondensatora (patrz wykład najbliższy). Ponieważ maszyny te dają tylko nieznaczne napięcia, przeto Töpler w swoich ostatnich wielkich maszynach zjednoczył oba typy razem.

Pytania do wykładu XXXIII.

1. W jaki sposób na gęstość powierzchniową wpływa wielkość powierzchni? Uzasadnij swoją odpowiedź doświadczalnie.

2. Przypuśćmy, iż ładujecie izolowany płat cynfolii o powierzchni 500 cm^2 i nawijacie go tak, żeby zewnętrzna powierzchnia miała 50 cm^2 ; jak zmniejszenie powierzchni wpływa na potencjał? Naszkicuj urządzenie przyrządu i uzasadnij swoją odpowiedź.

3. Jak się dzieli ładunek pomiędzy dwiema jednakowymi izolowanymi kulami?

4. Jak się dzieli ładunek pomiędzy dwiema niejednakowymi izolowanymi kulami? Daj na to przykład arytmetyczny.

5. Oznacz pojemność, ilość elektryczności i różnicę potencjału, oraz ustal, jaki stosunek zachodzi pomiędzy temi wielkościami w razie ładunków elektrostatycznych. Jak wpływają na gęstość ładunku zmiany w różnicy potencjału?

6. Naszkicuj i opisz części maszyny taflowej Winter'a. Wytlomacz jej działalność i wskaż teorię.

7. W jaki sposób na maszynę Winter'a wpływa: 1) połączenie głównego konduktora z ziemią, oraz izolacja drugiego; 2) krótkie połączenie obu; 3) izolacja obu?

8. Opisz budowę prostej maszyny elektrycznej.

9. Za pokręceniem korby zwykłej maszyny, opartej na tarcu, z głównego konduktora mogą wyskakiwać iskry. Wytlomacz, w jaki sposób główny konduktor ładuje się elektrycznością?

10. Główny konduktor maszyny elektrycznej dźwiga długi, wystający pręt mosiężny; u końca pręta na wilgotnej nici bawełnianej wisi kulka bzoowa, w której aż po główkę osadzona jest igła tak, że jej ostrze wystaje z drugiej strony. Jak i dlaczego kulka porusza się, jeśli maszyna zacznie się obracać?

11. W zwyczajnej taflowej lub walcowej maszynie elektrycznej konduktor wszędzie ma formę zaokrągloną z wyjątkiem tej strony, gdzie się najbardziej zbliża do tafla lub cylindra; tutaj posiada on ostre, wystające ostrza. Wskaż przyczynę takiego urządzenia.

12. Powiedz, dlaczego, w celu otrzymania szeregu iskier z głównego konduktora maszyny elektrycznej, należy łączyć narzędzie pocierające z ziemią?

13. Czy maszyna elektryczna mogłaby działać, gdyby posiadała zamiast kręgu ze szkła krąg metalowy? Jeśli nie, to dlaczego? Jeśli tak, to wskaż jakim sposobem?

14. Część ebonitowa elektroforu została naładowana elektrycznością. Jakich środków użyjesz do zupełnego jej wyładowania?

15. Rozpatrz analogie pomiędzy różnicami poziomu, temperatury i potencjału elektrycznego.

16. Izolowaną kulę miedzianą zawieszono bez ładunku w pobliżu konduktora naładowanego odjemnie. Wtenczas na chwilę połączono ją z naładowanym konduktorem. Czy potencjał przez to uległ zmianie i jeśli tak, to w jaki sposób? Wtedy na chwilę połączono go z ziemią. Jak to wpływa na jej potencjał?

17. Opisz doświadczenie z maszyną opartą na tarcu, przekonywające, iż zachowanie jej całkiem jest podobne do zachowania ogniwa galwanicznego. Wskaż całkowite podobieństwo maszyny elektrycznej do ogniwa.

18. Powiedz, jaka jest budowa i działalność maszyny influencyjnej Holtza według pomysłu Leysera-Weinholda i wyjaśnij na szkicu główne jej części.

19. Podaj dokładnie bieg tej maszyny. Do jakiego rodzaju dynamomaszyny (prądu głównego, z połączeniem bocznym lub sprzężonej) jest ona zupełnie podobna pod względem działania? Daj szczegółowe objaśnienie.

WYKŁAD XXXIV.

Treść: Doświadczenia z maszyną Winter'a, przedstawiające działanie wyładowań, ostrzy, ciał ogrzanych i płomieni. — Definicja wyładowania, wyładowania raptownego, nieustającego albo prądu, świecącego, wiatru, kiści, iskry i rurki opróżnionej. — Kondensatory i gromadzenie energii elektrycznej. — Ładowanie kondensatora. — Wyładowywanie kondensatora przez usuwanie wolnych ładunków. — Krótkie łączenie albo wyładowywanie kondensatora w jednej chwili. — Określenie pojemności indukcyjnej właściwej. — Praktyczne zastosowania kondensatorów. — Butelka lejdejska. — Ładowanie i wyładowywanie butelki lejdejskiej. — Umieszczenie ładunków w kondensatorze lub w butelce lejdejskiej. — Łączenie butelek lejdejskich w baterie pod względem ilości i potencjału. — Ostateczne uwagi. — Pytania.

Doświadczenia z maszyną Winter'a. Wiele rozmaitych, zajmujących i pouczających doświadczeń można wykonać z tą maszyną, że wspomnimy o kilku następujących. Doświadczenie XIX. 1. **Okazanie działania wyładowań i ostrzy.** Po izolowaniu głównego konduktora i połączeniu ubocznego konduktora z ziemią, wprowadźmy w mały otwór zrobiony w górnej części głównego konduktora kołec metalowy elektrometru kwadransowego Henley'a *).

*) Prosty ten przyrząd, wyobrażony na fig. 319, (str. 314), składa się ze sztabki metalowej B, oraz przymocowanego do części górnej podzielonego półkola D i kulki bżowej A, która wisi ze środka półkola na końcu bardzo lekkiej izolującej strzałki C z fiszbinu. Skoro sztabkę B naładowano z głównego konduktora, tedy najpierw przyciąga ona kulkę A, a potem ją odpycha na odległość zmieniającą się wraz z potencjałem ładunku; skutkiem tego kąt odchylenia wskazówki od zera zgruba wskazuje potencjał głównego konduktora.

Obracamy korbę jedną ręką (albo lepiej niechaj ją obraca asystent) a skoro tylko wskazówka elektrometru mocno się odchyli od zera, powoli przysuwamy do głównego konduktora knykciej drugiej ręki lub kulkę metalową połączoną z ziemią albo inne ciało zaokrąglone. Przez indukcję elektryczność + zebrana na głównym konduktorze przyciąga elektryczność — ręki lub ciała połączanego z ziemią i skoro oba zbliżą się do siebie na długość iskry (stosownie do wielkości i stanu maszyny 5 do 70 cm), następuje wyładowanie między nimi, z towarzyszeniem trzasku i uczuciem jakby ukłócia, nieodłącznem od pewnego słabego wstrząśnienia, jeżeli ręka i ciało tworzą drogę do ziemi.

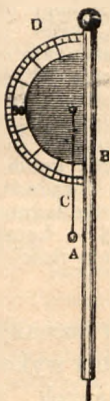


Fig. 319. Elektrometr kwadransowy Henley'a.

Zauważmy formę tej iskry, którą możemy również obserwować w wyładowaniach błyskawicy a którą niesłusznie nazywają zygzakowatą; iskra ta przypomina raczej bieg rzeki tak, jak je widzimy na mapach. Potężne iskry, zwłaszcza maszyn influencyjnych i induktorów, podobnie jak wyładowania wydają się często wielokrotnymi.

Przysuwamy teraz ciało połączone z ziemią bliżej do głównego konduktora a iskra staje się falistą i rozwidla się na kształt gałęzi drzewa bezlistnego. Przysuwamy je jeszcze bliżej, dajmy na 2 do 3 cm, wtedy iskra obiera drogę prostolinią. A nadto jest ona nieomal

ciągła, jeżeli odsuniemy pierścień Winter'a i przez to zmniejszymy pojemność konduktora. Iskry stają się coraz częstszymi, trzask ich jest mniej głośny i wrażenie nie tak bolesne, ponieważ *za każdym razem mniejsza ilość elektryczności zbiera się i wyładowuje.*

Za każdym razem, gdy iskra przeskakuje, widzimy, iż kulka bzowa spada do zera, co dowodzi, że potencjał maszyny zmniejsza się nagle skutkiem połączenia się elektryczności $+$ i wzbudzonej $-$ i przeto częściowego lub zupełnego zubożenia głównego konduktora. Usuwamy ciało połączone z ziemią i przestajemy wytwarzać elektryczność. Widzimy, iż kulka bzowa stopniowo dochodzi do zera. Im powolniej się to dzieje, tym lepszą jest izolacja wszystkich części maszyny, bo jestto dowód, iż przez powierzchnię lub masę podstawy szklanej niema szybkiego uchodzenia.

2. Nakładamy znowu pierścień Winter'a, który był usunięty w celu okazania ciągłego i prędkiego wyładowywania po linii prostej, i przysuwamy do głównego konduktora przyrząd zaostrzony naprz. igłę trzymaną w rękę.

Teraz nanowo obracamy maszynę. Widzimy, iż elektrometr ledwie się odchyła i wyładowanie odbywa się spokojnie, lecz nie w formie zygzakowatej, przebijającej, jaką widzieliśmy dla ciała okrągłego. Potem słyszymy tylko syczący szmer, widzimy, że z ostrza igły wychodzi światło w kształcie kiści i nie odczuwamy prawie lub wcale wrażenia (z pewnością bez żadnego wstrząśnienia, jak w pierwszym i drugim wypadku).

Przyczyny tego całkiem różnego działania przy zastosowaniu z jednej strony ostrzy (lub ciał ostrego i okrągłego) a z drugiej strony przy stopniowym gromadzeniu się i narreszcie ostatecznym przebicu dielektryka powietrznego w razie wyładowania pomiędzy dwoma okrągłymi ciałami, z łatwością będą zrozumiane, jeżeli uprzytomnimy sobie doświadczenia z działaniem ostrzy w ciągu wykładu XXXII oraz konwekcyi przez powietrze pod wpływem ostrzy.

3. Laskę zakończoną gwiazdą (podobną do wyobrażonej na figurze poniższej) stawiamy na głównym konduktorze PC maszyny. Obracamy korbę i natychmiast stwierdzamy, iż gwiazda porusza się w kierunku



przeciwnym ostrzom. Jest to następstwo bezwładności i oddziaływania nienaelektryzowanego spokojnego powietrza na powietrze naelektryzowane, odpychane od ostrzy a potem następstwo odpychania pomiędzy powietrzem + odpychaniem a dodatnio naelektryzowanymi ostrzami gwiazdy (niema tu jednak na dobrą sprawę podobień-

Fig. 320. Młynek elektryczny Hamiltona.

stwa do oddziaływania wody wypływającej w kole Segner'a).

4. Tniemy kawałek papieru jedwabnego na wąskie i długie paski, związujemy je w jednym końcu i przyczepiamy do galki osadzonej na sztywnym drucie, wystającym na jakie $\frac{1}{2}$ metra z głównego konduktora maszyny. Obracając ręczkę, zauważymy, iż paski jednoimiennie naładowane odpychają się. Jeżeli zdołu przybliżymy do

nich dużą igłę, której ostrze zwrócone jest do kisci, postrzegamy, iż paski natychmiast się zejdą. Jeżeli zasłoniemy ostrze igły dłonią, paski rozejdą się znowu cokolwiek. Usuwamy rękę i paski rozchodzą się jak przedtem. Wzbudzona elektryczność —, o znacznej gęstości, wypływa z ostrza igły, niweczy elektryczność + na paskach i czyni je obojętnymi.

5. Bierzemy rzeźbioną główkę z drzewa pokrytą długim, suchym i czystym włosiem i przymocowujemy do głównego konduktora; zaczynamy obracać maszynę i włosy stają dębem. W pewnej odległości nad włosami przesuujemy tam i napowrót rękę na płask a widzimy, jak włosy falują posłuszne ruchowi ręki. Jeżeli zwrócimy ku włosom ostrą igłę, tedy włosy odpadną.

Do takiego doświadczenia bardzo dobrze nadaje się uczeń z długimi niepomadowanymi włosami, którego

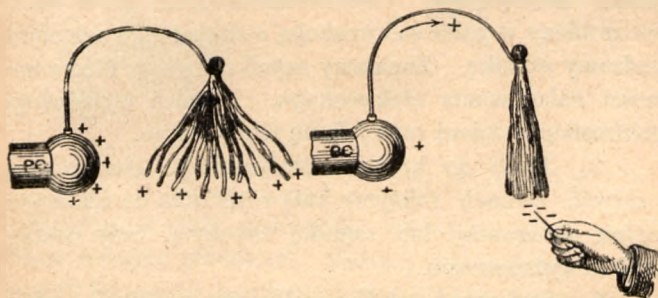


Fig. 321. Doświadczenia z maszyną, opartą na tarcie, dowodzące działania ostrzy.

stawiamy na stołku izolującym i łączymy drutem z głównym konduktorem. Poczuje on bardzo mały ból nawet

wtedy, gdy iskry będą wydobywane z jego nosa, bo włosy jego i sukienne ubranie sprawiają, że przeważna



Fig. 322. Naelektryzowana głowa drewniana z włosami odtłuszczonemi.

część ładunku rozprasza cię bez wyładowania przebijającego.

Działanie ciał ogrzanych i płomieni na wyładowanie ładunków elektrycznych. Doświadczenie XX. 1. W otworek zrobiony w gałce elektroskopu o złotych listkach wprowadzamy zapalną. Zapalamy zapalną i wtedy niema możliwości naładowania elektroskopu. Płomień wyładowuje elektroskop w miarę tego jak się tenże ładuje.

2. Jeżeli do krążka naładowanego elektroskopu o złotych listkach zbliżymy kulę rozgrzaną do czerwoności (nie izolowaną) lub zapalną zapaloną, tedy nastąpi szybkie wyładowanie.

3. Stajemy na stołku izolującym z nóżkami szklanymi. W rękę trzymamy laskę fiszbinu (lub długi pręt), którego koniec grubszy połączony jest drutem z elektroskopem o złotych listkach, cieńszy zaś drutem miedzianym CW z kłaczkiem waty bawełnianej, umaczanej w spirytusie

winnym, jak na figurze 323. Zapalamy spirytus i płomień sprowadzamy nad ostrze igły NP wetkniętej prostopadle w główny konduktor PC maszyny elektrycznej.

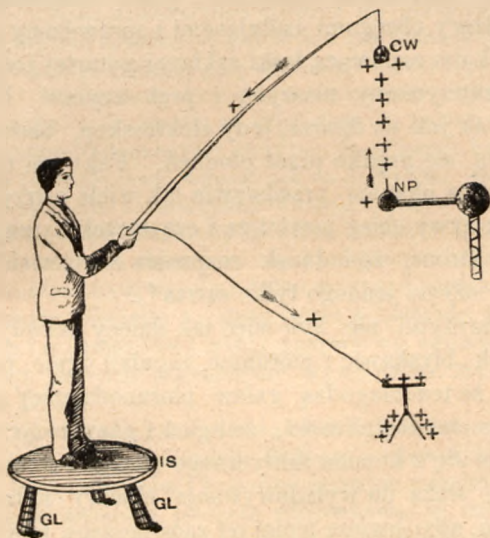


Fig. 323. Okazanie działania płomieni i ciał ogrzanych.

Postrzegamy, iż listki rozchylają się w tejże chwili, gdy maszyna zaczyna pracować. Możemy odsunąć zapaloną watę na 3 lub więcej metrów od ostrza igły a jeszcze sposobem tym, naśladującym jakby łapanie ryb, możemy wykazać elektryczność. Po pierwszem zbliżeniu płonącego kłaczka bawełny do głównego konduktora, wzbudza się na nim bezwątpienia pewna ilość elektryczności —, lecz

niweczy ją prędko elektryczność +, wychodząca z tego ostrza, aż strumień elektryczności + istotnie przejdzie przez powietrze i skupiony przez płomień naładuje pręt, osobę i elektroskop elektrycznością +. Ładunek dodatni daje się z łatwością stwierdzić, jeżeli odejmiemy drut przewodzący obcęgami izolującymi i sprawdzimy ładunek elektroskopu zapomocą laski szklanej potartej jedwabiem. Skoro zatrzymamy maszynę i pręt trzymać będziemy wciąż tak jak na figurze, tedy elektroskop, badacz i pręt wyładowują się prędko przez płomień. Fakt ten tłumaczymy tem, że płomień przedstawia tak wiele ostrzy i powoduje tak żywy obieg powietrza i cząsteczek kurzu w jedną i drugą stronę, że ładunek rozprasza się o wiele prędzej niż przy użyciu jednego tylko ostrza *).

Starożytni nie byli więc tak dalecy prawdy, skoro, na widok błyskawic i piorunów, zapalali ogień, przypuszczając, że tem złagodzą gniew piorunodzierzcy Jowisza; nie ulega też wątpliwości, że ogień i gazy rozgrzane wydostające się z komina fabrycznego (zgodnie z tem co mówiliśmy) służą do wyładowywania chmury naładowanej tak samo, albo jeszcze lepiej od zaostzonego piorunochronu złączonego z ziemią.

Możemy dowolnie zwiększać poczet tych doświadczeń, lecz właściwej potrzeby czynienia tego nie widzimy. To, co przytoczyliśmy, wystarcza do zaznajomienia ucznia z wyładowaniem przebijającym i cichem, z wyładowują-

*) Oprócz przewodnictwa konwekcyjnego, w gazach płonących oraz w powietrzu otaczającym ciała żarzące, wreszcie w powietrzu, w którym odbywają się wyładowania elektryczne, dają się wykazać jakby ślady przewodnictwa elektrolitycznego.

cym działaniem ostrzy i płomieni i pomoże nam zrozumieć następujące definicje *).

*) Wpierw jednak można wspomnieć następujące doświadczenia:

1. *Ciepłe działanie iskry* ujawnia się przez to, że możemy nią zapalać mieszaninę gazów lub par płonących (wodoru lub gazu oświetlającego, pary alkoholu i eteru) i powietrza.

2. *Wyładowanie elektryczne w rodzaju kiści* najłatwiej daje się zauważyć w ciemności na wysuniętych kulach konduktorów maszyny influencyjnej, przytem na *odjemnym* konduktorze ma ono zupełnie inny wygląd jak na dodatnim. Gdy bowiem na tym ostatnim obserwujemy świecące, czerwone ostrze, dzielące się nakształt miotły na luźne i cienkie żyłki długości 10 lub więcej cm i zbiegające się ku odjemnemu konduktorowi, na odjemnym widzimy tylko drobne, niebieskawe punkciki światła. Światło to elektryczne w kształcie kiści napotyka się i w przyrodzie i wtedy nazywa się ogniem św. Elma. Powstaje przytem przytoczony wyżej na str. 284 szczególny zapach ozonu.

(Zjawisko to szczegółowo badane było przez pp. Elstera i Geitela na górze Sonnblick. Badacze ci zauważyli, że zwłaszcza po burzy z cyplów i krawędzi górskich z szelestem wydobywają się świecące płomyki niebieskawe, w rodzaju kiści. W razie wyładowań dodatnich kiść jest długa, osadzona na czerwonym ostrzu, w razie odjemnych kiść jest mała a ostrza wcale niema lub jest bardzo krótkie. Dodatnie ognie św. Elma ukazują się przeważnie w lecie, odjemne w zimie. Uw. tłóm.).

Dalsza różnica pomiędzy wyładowaniem dodatnim a odjemnym *w powietrzu* według tego, co powiedzieliśmy w p. 2, zasada się na tem, że dodatnia elektryczność wymaga przy wyładowaniu daleko większej gęstości powierzchniowej niż —, że więc *najdłuższe* iskry otrzymujemy wtedy, gdy zmuszamy elektryczność + do wychodzenia z ostrza lub małej kulki, zaś

Definicje*) — *Wyladowanie*. Gdy dwa przewodniki, naładowane elektrycznością przeciwną, stykają się ze sobą, znajdujemy, że w chwili zetknięcia znika elektryzacja skutkiem zubożenia elektryczności odjemnej przez dodatnią i, po zetknięciu, *całkowita elektryzacja* obu rodzajów, obliczona bez względu na znak poprzedzający, jest mniejsza niż przedtem. Ten przebieg neutralizacji, któremu towarzyszy powstawanie ciepła i inne zmiany fizyczne w przewodnikach i w otaczającym powietrzu albo środowisku izolującym, zowie się *wyladowaniem*.

Raptowne wyladowanie. Gdy wyladowanie posłada okres krótki i występuje w środowisku izolującym przewodniki, nazywa się *wyladowaniem raptownem* (przebijającym). W razie wyladowania raptownego dielektryk przerywa się lub rozszczepia, chociaż przerwa ta naturalnie stałą jest jedynie w razie stałych izolatorów.

Wyladowanie nieustające albo prąd. Zapomocą pewnych urządzeń można odnawiać elektryzacje przeciwne konduktorów z taką szybkością, z jaką ona bywa usuwana przez wyla-

elektryczność — z dużej kuli lub tarczy (por. *induktor do isker* str. 153 fig. 252). 4. Podobne różnice ukazują się przy szerzeniu się ładunków + i — w innych izolatorach. Włóżmy np. na krążek ebonitowy napaśtek i zwróćmy nań z jednej strony iskry +, z drugiej iskry —. Potem ze szklanki zawiązanej muślinem wysiewamy na krążek kwiat siarczany pomieszany z minią, skutkiem tarcia kwas siarczany staje się przytem —, minia +; odrobinki pierwszego dostają się do miejsc +, drugiej do miejsc — i tam się utrwala. Otrzymujemy w ten sposób mocno rozgałęzioną, żółtą figurę, odpowiadającą elektryczności +, podczas gdy czerwone figury minii, odpowiadające elektryczności —, tworzą plamy okrągławe. Są to t. zw. *figury Lichtenberga*.

*) Definicje te zawdzięczamy dr. Flemingowi, (patrz str. 52).

dowanie. Wtedy otrzymujemy wyładowanie nieustające, czyli prąd elektryczny. Wszelako wyraz „prąd“ zachowuje się po największej części tylko dla wyładowania, jakie odbywa się przez przewodnik.

Świecenie elektryczne. Jeżeli naelektryzowaliśmy konduktor o jednym końcu zaostrozonym, znajdujemy, iż gęstość powierzchniowa na ostrzu lub w pobliżu jego znacznie przewyższa gęstość w innych miejscach. Z tego powodu natężenie pola elektrycznego zupełnie blisko od tego punktu znacznie jest większe, niż w innych miejscach, położonych w blisko-

ści części powierzchni niezaostzonych. Ponieważ dielektryczna wytrzymałość powietrza jest ograniczona, przeto opór izolacyjny powietrza ustępuje, skoro gęstość dojdzie do pewnego określonego kresu i pojawia się prąd elektryczny, czyli nieustające wyładowanie z ostrza w powietrze. To ostatnie zaczyna słabo świecić i wogóle staje się źródłem mdłego światła, albo rodzaju łuku świetlnego, który widzimy w ciemności na ostrym końcu konduktora.



Fig. 324. Rurka opróżniona z biegunami wyładowującymi.

Wiatr elektryczny. Powietrze w pobliżu ostrza elektryzuje się elektrycznością tego samego znaku co konduktor. Gdyby to powietrze mogło być unieruchomione, przewodnik zachowałby swój ładunek, lecz ponieważ cząsteczki powietrza jako ruchome są odpychane i ze sobą unoszą swój ładunek, tedy miejsce ich zajmują czą-

steczki innego powietrza nienaelektryzowanego, wynikiem zaś tej samej czynności, wciąż powtarzającej się, jest szybki odpływ naelektryzowanych cząsteczek powietrza od ostrza czyli to co nazywamy *wiatrem elektrycznym*.

Światło elektryczne w kształcie kiści lub wiązki. Jeśli na konduktorze osadzimy tępe ostrze lub małą kulkę i naelektryzujemy konduktor, wtedy w sąsiedztwie tępego ostrza wytwarza się pole elektryczne, które jednakże nie jest tak potężne jak w sąsiedztwie ostrego ostrza. W tych warunkach zjawia się szereg szybkich wyładowań w powietrzu, które wzdłuż linii sił zaczyna słabo świecić, z towarzyszeniem głośnego szelestu. Wyładowanie to z powodu swojego wyglądu otrzymało nazwę wyładowania elektrycznego w kształcie kiści.

Iskra elektryczna. Skoro natężenie pola elektrycznego na całej drodze pomiędzy dwoma konduktorami jest znaczne, naprz. gdy zbliżają się do siebie dwa konduktory kuliste, naelektryzowane przeciwnie i w jednakowym stopniu, skoro tylko pole wzrośnie po za pewną granicę, wyładowanie przyjmuje formę iskry. Wzdłuż drogi wyładowania, powietrze staje się mocno świecącym i jarzącym, konduktory zaś wyładowują się całkowicie. Bieg iskry często bywa nieregularny, ponieważ prąd elektryczny podczas przerywania dielektryka obiera linię najmniejszego oporu.

Rurka opróżniona. Naczynie szklane, w którym powietrze lub inne gazy rozrzedzone doprowadzone zostały do takiego ciśnienia, iż przeładowanie przestaje być raptownem i w przestrzeni przyjmuje kształt kiści, nazywa się rurką opróżnioną (vacuum tube). Taką właśnie rurkę opróżnioną, używaną zazwyczaj do doświadczeń z maszyną przez tarcie, widzimy na fig. 324. Jeżeli wypompujemy możliwie powietrze z tego naczynia i połączymy obręczkę u góry z konduktorem maszyny elektrostatycznej, wtedy ujrzymy, iż przestrzeń pomiędzy kulkami wypełnia się całkowicie mglistym światłem. (Zjawisko to nazywane bywa „jajkiem elektrycznem.“ Uw. tł.).

Zjawiska wywołane przez wyładowanie elektryczne w gazach rozrzedzonych. (Od tłumacza). Do doświadczeń tych używane są rurki szklane (Geisslera i Crookes'a) formy wielce rozmaitej, zwężone w środku, z wpuszczonemi w obu końcach drucikami platynowemi (elektrodami), służącemi do stykania z konduktorem maszyny elektrostatycznej albo lepiej, z końcówka-

mi cewki indukcyjnej. Przy odpowiednim rozrzedzeniu atmosfery gazowej we wnętrzu takiej rurki iskra wyładowania znikła, natomiast z elektrodu dodatniego zaczyna wychodzić pewien rodzaj światła, odjemny zaś otacza się jakby aureolą światła fioletowego; przedziela je przestrzeń ciemna. Barwa światła w rurkach tych zależy od natury gazu: naprz. w wodorze światło jest niebieskawe i tylko w części zwężonej wpada w czerwień, w dwutlenku węgla jest zielonkawo białe, w azocie przy katodzie fioletowe a w innych okolicach czerwone. Równoległe, naprzemian jasne i ciemne prążki, jakie dają się zauważyć w rurkach Geisslera wypełnionych wodorem lub innemi gazami palnemi pochodzą od przerw w wyładowaniu; obserwowane w obracającym się zwierciadle prążki te zdają się wychodzić to z jednego, to z drugiego elektrodu. Przy większym rozrzedzeniu prążki te mnożą się, acz do pewnej tylko granicy, poczem liczba ich zmniejsza się a grubość zwiększa. Badania Hittorfa, Crookes'a, Puluj'a i innych dowiodły, iż przy rozrzedzeniu bardzo znacznym gazu w rurkach Geissler'a (aż do 0,01 mm ciśnienia barometrycznego i poniżej) wyładowanie przechodzi w inną formę. Aureola świetlna, otaczająca elektrod odjemny posuwa się wtedy coraz dalej w postaci promieni prostych, normalnych do powierzchni katodu, które sięgają aż do przeciwległego elektrodu i po drodze zmuszają wszystkie ciała napotykane do fosforescencyi. Są t. zw. *promienie katodalne*. Promienie katodalne wytwarzają w wysokim stopniu zjawiska fluorescencyi i fosforescencyi, rzucają cienie, rozgrzewają przedmioty, na które padają (platyna topi się w ognisku katodu mającego kształt soczewki wklęsłej), dają się odchyłać przez magnesy i wywierają działania naprz. ciała lekkie poruszają się w kierunku tych promieni. Rzecz szczególna, iż promienie te przenikają bardzo cienkie blaszki metalowe (odkrycie Hertz'a), ale nie mogą przebić szkła. Materyał katodu stopniowo zużywa się, a cząsteczki jego osadzają się na przeciwległej ściance (w ten sposób tworzy się zwierciadłana powłoka żelaza, złota, platyny i innych metali). Na tej zasadzie Lenard wprowadził w ściankę rurki, w której rozrze-

dzenie wynosiło prawie 0,000001 ciśnienia barometrycznego, cienką blaszkę glinową (aluminium), przez którą promienie katodálne przedostawały się w powietrze, to zaś poczynąło świecić światłem rozproszonym.

W przestrzeni zupełnie pustej elektryczność nie przechodzi*), czego dowodem są rurki napełnione kwasem węglanym a potem możliwie opróżnione, w których umieszczono nadto kawałek wodoru potasu w celu usunięcia ostatnich śladów gazu, po rozgrzaniu rurki a następnie oziębieniu.

Promienie Röntgen'a (Od tl.). W roku 1895 prof. Röntgen z Würzburga znalazł, że jeżeli do rurki Crookes'a, w której rozrzedzenie posunięte zostało bardzo daleko, zasłoniętej ciemną teksturą zbliżony zostanie ekran, powleczoney ciałem fluoryzującym, np. platynocyankiem barytu, tedy niewidzialne promienie, odtąd zwane *promieniami Röntgen'a* albo promieniami X, przechodzą przez teksturę i sprawiają, iż ekran fluoryzuje. Promienie te nie dają się uchylać przez działanie magnesu, jak promienie katodálne, a zdaniem Röntgen'a nie odbijają się prawidłowo i nie załamują; dalej z łatwością przechodzą przez papier, drzewo, skórę, ebonit i inne ciała, a zarazem przez cienkie blaszki metalowe. Im gęstszy jest metal, tem łatwiej przepuszcza te promienie; atoli lekki glin hamuje nieco ich działanie, acz nie znosi całkowicie. Płytki fotograficzne suche czule są na promienie X nawet gdy znajdują się w zamkniętej kasetce lub zawinięte są w czarny papier. Jeżeli położymy rękę na pokrywce kasetki lub na owym papierze, płytka da ciemny obraz szkieletu ręki; na pozytywie oglądamy ciemny zarys kości ręki na tle jaśniejszego obrazu ręki, ponieważ promienie te przechodzą przez kości nierównie trudniej niż przez części miękkie. Promienie Röntgen'a są nową formą energii mało dotąd znaną, mimo to znalazły już dziś niejedno zastosowanie w chirurgii i technologii mechanicznej. Tu zauważymy jeszcze, że

*) Dr. J. Vallentin „Lehrbuch der Elektrizität u. des Magnetismus“ Stuttgart 1897.

wszystkie zjawiska pomienione dają się o wiele lepiej wywoływać zapomocą aparatów indukcyjnych.

Kondensatory i kondensacya energii elektrycznej. Kondensator składa się poprostu z dwóch powierzchni przewodzących, zbliżonych do siebie i przedzielonych dielektry-

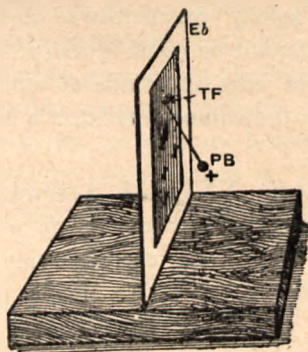


Fig. 325.

kiem — powietrzem, szkłem, ebonitem, żywicą, parafiną lub innym dobrym izolatorem; urządzenie to zwiększa pojemność elektryczną. Powierzchnie te nazywają się *zbrojami* konduktora.

Najprostszy kondensator możemy sobie wystawić w postaci dwóch blach metalowych izolowanych i przedzielonych powietrzem. Wielce prostym również i łatwym w obejściu do celów doświadczalnych przyrządem jest cienka płytka z ebonitu niepolerowanego Eb*) lub warstwa

*) Polerowanie powierzchni ebonitowej (dokonywane zapomocą oleju, nie zaś spirytusu) niweczy opór izolacyi. Naj-

szkła polerowanego, powleczone częściowo pośrodku każdej strony cynfolią TF. Dwie te zbroje z cynfolii stanowią powierzchnie przewodzące, przedzielone cienkim izolatorem; te trzy części razem tworzą t. zw. *kondensator*.

W celu wykazania potencjałów ładunków, udzielonych zbrojom, należy przymocować z obu stron cynfolii przez przyklejenie na cienkiej nici po kulce PB z rdzenia bżowego. Na czas doświadczeń dobrze jest ustawić przyrząd ten na drewnianej podstawie takiej jak na załączonej figurze.

Doświadczenie XXVI. 1. Ładowanie kondensatora. Kondensator ten ustawiamy na drewnianej podstawie, po-



Fig. 326. Ładowanie konduktora.

czem łączymy jedną jego stronę z ziemią przez dotknięcie palcem zbroi C_2 , podczas gdy drugą stronę C_1 przysuwamy lub stykamy z głównym konduktozem maszyny elektrycznej; załączony szkic przekroju, na którym warstwy zbroi umyślnie zostały powiększone w celu pomieszczenia znaków $+$ i $-$, wskazuje to dobrze. Skoro zaczniemy obra-

cać maszynę, zbroja C_1 ładuje się elektrycznością $+$, która

lepiej jest wytrzeć ją kawałkiem szklanego papieru i tak pozostawić. Potem ebonit wymaga od czasu do czasu powtórzenia tego pocierania, bo utlenienie powierzchni osłabia izolację, zwłaszcza przy wystawieniu na światło słoneczne.

wzbudza przez ebonit Eb prawie równą ilość elektryczności — na wewnętrznej powierzchni C_2 , zaś + odpycha do ziemi. Odjemna elektryczność na C_2 wiąże + wewnętrznej powierzchni C_1 , pozwalając większym ilościom + przybywać od PC. Ta nadpływająca elektryczność + przyciąga więcej — na C_2 , która z kolei rzeczy oddziaływa na świeżo przybyłą +; i tak dalej, aż kondensator naładuje się największą ilością, jaką jego pojemność przy danym napięciu lub różnicy potencjału maszyny znieść może; pamiętamy bowiem wzór, który podaliśmy na ostatnim wykładzie a m.

Ilość = Pojemność $\times$ Różnica potencjału
czyli

$$Q = C \times V.$$

Skoro napięcie, osiągnięte w maszynie, jest bardzo duże, tedy konduktor daje się naładować do takiego stopnia, iż elektryczność w postaci iskier przebiega od C_1 do C_2 , dążąc albo naokoło krawędzi ebonitu po jego powierzchni, albo przez powietrze od C_1 do C_2 , albo wprost wyładowywuje się przez krąg ebonitowy, przebijając w nim malutkie otworki. My jednak przypuszczamy, że kondensator nasz zastosowany jest do rozmiarów maszyny i że ani jeden z powyższych objawów nie ma miejsca. Odsuwamy go teraz od głównego konduktora, po zupełnym naładowaniu i stawiamy na stole wykładowym. Widzimy teraz, iż jedna kulka bzoła jest odpychana od C_1 przez swój wolny ładunek +, zaś druga, którą przyczepioną do C_2 , nie jest odpychana, gdyż *całkowity* ładunek — na zbioru C_2 jest związany na jej wewnętrznej powierzchni przez ładunek + na C_1 . Obe-

enie kondensator znajduje się w stanie odosobnionym i, jeżeli izolacja dielektryka ebonitowego jest bardzo dobra, będzie zachowywał swoje ładunki przez ciąg jednego dnia lub dłużej.

2. Wyładowywanie kondensatora przez usuwanie wolnych ładunków. Dotknijmy naten przykład strony — na C_2 lewą ręką. Nie otrzymujemy żadnego znikąd wstrząśnienia, bo niema tam *wolnego* ładunku —; jest on bowiem całkowicie związany na stronie przyległej do ebonitu przez ładunek + na C_1 . Usuwamy rękę i dotykamy strony + na C_1 ; otrzymujemy bardzo małą iskrę i wstrząśnienie, co dowodzi istnienia małej tylko ilości wolnej +; w tejże chwili kulka bzoowa odskakuje od C_2 , gdy kulka bzoowa przy C_1 opada. Dotykamy teraz strony -- na C_2 i w tejże chwili dostrzegamy iskierkę oraz wstrząśnienie, co wskazuje, że usunięcie wolnej na C_1 wyzwoliło niewielką ilość — na C_2 . Dotykamy teraz po kolei i raz po razie każdej strony, aż nastąpi zupełne wyładowanie kondensatora. Pouczające to doświadczenie przekonywa, że na obu stronach naładowanego kondensatora nagromadzone są ściśle niejednakowe ilości elektryczności, ponieważ mała ilość elektryczności na stronie naładowanej jest wolna i posiada swobodę działania indukcyjnego na ciała otaczające, połączone z ziemią, nie jest przeto związana przez ładunek przeciwny na drugiej stronie kondensatora. Objasnijmy to zapomocą przykładu arytmetycznego.

Przypuśćmy, że całkowity ładunek na stronie + wynosi 100 jednostek, na stronie — 95 czyli o $\frac{1}{20}$ mniej. Jeżeli dotkniemy strony +, tedy usunie się ty-

	Strona +	Strona —	Ztąd wolny ładunek	
			na stronie +	na stronie —
Z początku	A	$B = mA$	$(1-m) A$	0
Po pierwszym dotknięciu strony + .	$A_1 = mB = m^2 A$	B	0	$(1-m) mA$
Po pierwszym dotknięciu strony — .	A_1	$B_1 = mA_1 = m^3 A$	$(1-m) m^2 A$	0
Po drugim dotknięciu strony +	$A_2 = mB_1 = m^4 A$	B_1	0	$(1-m) m^3 A$
Po drugim dotknięciu strony —	A_2	$B_2 = mA_2 = m^5 A$	$(1-m) m^4 A$	0
.				
Po n <u>tem</u> dotknięciu strony +	$A_n = mB_{n-1} = m^{2n} A$	B_{n-1}	0	$(1-m)m^{2n-1} A$
Po n <u>tem</u> dotknięciu strony —	A_n	$B_n = mA_n = m^{2n+1} A$	$(1-m) m^{2n} A$	0

le jednostek, że ilość elektryczności +, pozostającej na niej, jest o $\frac{1}{20}$ mniejsza od ilości elektryczności—na drugiej, stronie, czyli na stronie + mamy jeszcze $96 - \frac{1}{20} 95 = 90,25$ jednostek, a więc usunęło się $100 - 90,25 = 9,75$ jednostek. Jeżeli dotkniemy strony —, tedy usuniemy tyle elektryczności —, że pozostanie związanej mniej o $\frac{1}{20} \cdot 90,25$, czyli $90 - \frac{1}{20} \cdot 90,25 = 85,48$ jednostek elektryczności —, tymczasem usunęło się $95 - 85,48 = 9,52$ jednostek — i t. d. Jeżeli w ogólności nazwiemy A liczbę jednostek + istniejących na stronie naładowanej (np. prawej), B liczbę — istniejących na drugiej stronie, tedy zawsze, gdy m jest rzeczywistym ułamkiem, $B = Am$, otrzymujemy więc szereg następujących ładunków (tabelka na str. 331).

Zupełne wyładowanie kondensatora nastąpiłoby tą drogą dopiero wtedy gdyby $m^{2n} = 0$ czyli należałoby uczynić $n = \infty$ albo powtarzać zetknięcia nieskończoną ilość razy.

Krótkie łączenie kondensatora albo wyładowanie w jednej chwili. Naładujemy znowu kondensator ściśle w taki sam sposób jak poprzednio i stawiamy go na stole. Lewą rękę kładziemy na stronie— C_2 , prawą zaś stopniowo przybliżamy do strony + C_1 . W niewielkiej ztąd odległości postrzegamy naraz świetną iskrę i odczuwamy potężne wstrząśnienie. Teraz obie zbroje kondensatora zostały prawie krótko połączone a pomimo to ładunek nie został całkowicie usunięty; bo gdybyś nawet dotknął C_1 , potem prawą rękę na czas dłuższy usunął i następnie przysunął ją jak poprzednio, tedy otrzymalibyśmy w odległości nieco bliższej niż poprze-

dnio drugą iskrę i wstrząśnienie. Drugie to wyładowanie bądź co bądź, nie jest tak świetne i potężne jak pierwsze, wystarcza jednak do okazania, że po pierwszym wyładowaniu mała ilość elektryczności pozostała na C_1 . Ta druga ilość otrzymała nazwę ładunku *pozostałego*, zjawisko zaś samo nazwę *absorpcyi elektrycznej* danego dielektryka.

Niektóre dielektryki pochłaniają lub wciągają elektryczność bardzo powoli, ale zato zatrzymują ją lepiej, od innych i skutkiem tego dają większą liczbę pozostałych ładunków. By użyć prostego porównania, wiecie, iż niektóre drobno porowate gąbki pochłaniają wodę wolniej ale zatrzymują ją lepiej niż inne o dużych porach, tak że potrzeba je ścisnąć kilkakrotnie, zanim wszystka woda zostanie z nich usunięta.

Z szeregu doświadczeń, wykonanych na wzór po-

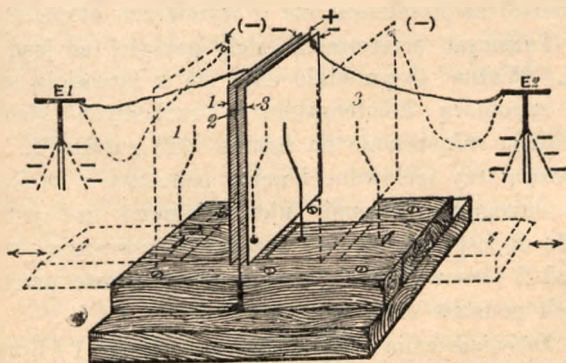


Fig. 327. Kondensator o dwóch ruchomych zbrojach.

wyższego, można nauczyć się jeszcze i tego, że gdybyśmy brali rozmaite dielektryki tej samej grubości, co ebonit, i pokryli je zbrojami z cynfolii jednakowego kształtu i wielkości, tedy nagromadzilibyśmy na nich rozmaite ilości elektryczności, ładując je ściśle do tego samego potencyału.

Innemi słowy, znaleźlibyśmy, że rozmaite dielektryki posiadają *rozmaite pojemności indukcyjne*. Powietrze obrano przytem na wzorzec, względem którego oznaczane są indukcyjne pojemności innych ciał. Ztąd otrzymujemy następującą definicyę:

Definicya. Pojemność indukcyjna właściwa. *Stosunek pojemności elektrycznej kondensatora, o pewnym szczególnym dielektryku, do pojemności jego w tym razie gdy zamiast dielektryka użyto powietrza, nazw. pojemnością indukcyjną właściwą tego dielektryka.* Im większa jest pojemność indukcyjna, tym większą będzie ilość, którą możemy nagromadzić na kondensatorze o wymiarach określonych.

Potencyał przewodnika zależy poczęści od jego położenia. Ważne to prawidło daje się z łatwością sprawdzić zapomocą kondensatora o ruchomych blachach, w rodzaju załączonego na figurze (327), gdzie 1, 2, i 3 oznaczają trzy izolowane blachy metalowe z zaokrąglonemi brzegami i rogami (niewidzialnemi na rysunku). Blacha 2 jest nieruchoma, 1 zaś i 3 poruszają się ku lub od 2 stosownie do życzenia przez proste przesuwanie ich podstaw drewnianych.

Doświadczenie XXII. Łączymy blachy 1 i 3 z elektroskopami jak na figurze. Ładujemy 2 dodatnio, podczas gdy dwie inne blachy znajdują się w pobliżu, aż

listki dadzą słabe odchylenie; wtedy łączymy 1 i 3 z ziemią, poczem znowu je odosobniamy. Jeżeli teraz odsu niemy je w położenie wskazane przez linie przerywane, znajdziemy, iż listki rozchodzą się o wiele dalej, niż w razie położen oznaczonych ciągłemi liniami. Doprowa dzamy je nanowo do położenia dawnego i listki scho dzą się na tę samą odległość co dawniej.

Rozważmy te wyniki na podstawie wzoru podanego na ostatnim wykładzie:

$$C = \frac{Q}{V} \text{ albo } V = \frac{Q}{C}.$$

Teraz ilość Q jest stałą, lecz pojemność C zmniejsza się ogromnie w miarę odsuwania blach 1, 3 od 2; skutkiem tego rośnie potencjał V , jak to wskazuje większe rozchodzenie się listków w elektroskopach. Dowodzi to, że jeśli ciało odosobnione i naciektryzowane połączone będzie z elektroskopem i przesuwac się będzie od ścian ku środkowi pokoju czyli oddalane będzie od wszystkich ciał połączonych z ziemią, tedy potencjał tego ciała zwiększać się musi, jak to wynika oczywiście z większego rozchylenia listków.

Praktyczne zastosowania kondensatorów. Każda linia telegraficzna napowietrzna stanowi kondensator o niewielkiej pojemności, gdzie drut zastępuje jedną zbroję, ziemia, drzewa otaczające i domy — drugą zbroję, oddziela zaś je dielektryk — powietrze. Lina podmorska, jeśli jest długa, stanowi kondensator o znacznej pojemności, w którym jedną zbroję tworzy przewodnik miedziany, drugą woda lub ochronna powłoka żelazna, oddziela zaś je cienka warstwa kauczuku lub gutaperki

o znacznej pojemności indukcyjnej właściwej. Z przyczyny tej sygnał telegraficzny albo chwilowy ładunek elektryczny, wstępujący do liny transatlantyckiej w Irlandyi, by wyjść aż w Ameryce, zależy nie tylko od oporu przewodnika miedzianego ale i ładunku elektrostatycznego, który powoduje, że elektryczność się opóźnia a, co za tem idzie, sygnał przeciąga się. Skutkiem tego przebycie liny podmorskiej przez sygnał zajmuje o wiele więcej czasu, niż przebycie liny lądowej napowietrznej tejże długości i oporu a to z powodu zwiększonej pojemności; oprócz tego sygnał jest słabszy po przybyciu do miejsca przeznaczenia niż w tym drugim razie. Zgodnie z tym do użytku telegrafu podmorskiego należy stosować przyrządy nadzwyczaj czułe, mogące notować sygnały słabe i przedłużone w rodzaju galwanometru zwierciadełkowego Sir W. Thomsona (patrz t. I, str. 227) i jego zapisywacza syfonowego (patrz dodatek II do t. I.). W celu wzmocnienia ostrości sygnałów umieszczone są w każdym końcu liny kondensatory, złożone z wielu warstw cynfolii, przedzielonych cienkimi pokładami papieru nasyczonego parafiną. Kondensatory owe urządzone są w taki sposób, iż wyladowują się szybko i przez to zaostrzają znak zkądinąd nieczytelny, aż dadzą się zupełnie wyraźnie odczytywać. Kondensatory bywają również stosowane do telegrafu podwójnego i poczwórnego z oporami tak podzielonemi, ażeby naśladowały możliwie dokładnie warunki liny lub kabla lądowego; przez wprowadzenie przyrządu pozwalającego równoważyć przepływ prądów w tę i ową stronę od stacyj końcowych, telegrafiści mogą korzystać z linii w obie strony jednocześnie.

Butelka lejdejska. Butelka lejdejska jest poprostu kondensatorem, w którym butelka szklana jest dielektrykiem, w której dno z wewnątrz i zewnątrz wyłożone jest warstwą cynfolii lub papieru złotego, podobnie boki aż do wysokości wskazanej na załączonej figurze. To co powiedzieliśmy i sprawdziliśmy we względzie prostego kondensatora, w podobnych warunkach stosuje się również do butelki lejdejskiej i dlatego nie widzimy żadnej potrzeby powtarzania tutaj wszystkich prawideł i doświadczeń.

Kondensator tej formy otrzymał nazwę od miasta portowego Lejda, położonego w Holandyi, gdzie w r. 1746 Cuneus, uczeń Muschenbroeck'a, znakomitego fizyka, wpadł na myśl naelektryzowania wody*). Wziął on do jednej ręki butlę o szerokiej szyjce, podczas gdy w wodzie butelki zanurzony był łańcuch zbierający, idący od maszyny tarciowej (starego typu o kuli siarkowej). Po ładowaniu wody przez pewien czas, chciał on odłączyć łańcuch i, dotykając go drugą ręką, doznał wstrząśnienia, które oszołomiło go tak dalece, że upuścił fiaszkę i potrzebował kilku dni do odzyskania równowagi**). O swoim

*) Według innego wiarogodnego podania, doświadczenie to miał wykonać sam Muschenbroeck, Cuneus zaś mógł być przytem obecnym. Zresztą w październiku 1745 r. odkrycie to zrobił v. Kleist z Camminu, na Pomorzu, zkąd butelkę niekiedy zowią także *butlą Kleist'a*. Słuszniej może byłoby nazywać ją „*butlą potęgującą*“ lub „*butlą-kondensatorem*.“

**) Szybkie i kolejne wyładowania baterij lejdejskich (patrz ostatnią figurę z niniejszego wykładu) prawdopodobnie dałyby skuteczniejszą *metodę tracenia elektrycznego* (elektro-

przypadkowym odkryciu zawiadomił on Réaumur'a (wynalazcę znanego termometru), ów zaś powiadomił o nim innych, którzy skwapliwie powtórzyli to doświadczenie, budzące ogromny podziw pośród współczesnych uczonych Europy i Ameryki.

Jak ładować i wyładowywać butelkę lejdejską. Doświadczenie XXIII. 1) *Ładowanie zbroi wewnętrznej elektrycznością +.* Do jednej ręki bierzemy butelkę za zbroję zewnętrzną, wystający zaś guzik zbroi wewnętrznej stykamy z + lub głównym kondensatorem czynnej maszyny elektrycznej, jeżeli chcemy naładować butelkę

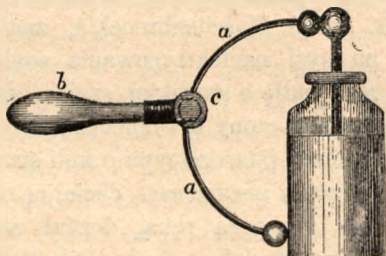


Fig. 328. Wyładowywacz obciążowy i butelka lejdejska.

do pełnego potencjału, jaki może wytworzyć maszyna. Gdybyśmy trzymali guzik w pewnej odległości od głów-

kucya), od tej, jaką zastosowano d. 6 Sierpnia 1890 r. w więzieniu Auburnskim w Nowym Jorku na Kemmlerze, który po zastosowaniu do niego prądu z dynamo maszyny o 1800 voltach w ciągu 18 sekund, wrócił do życia. Należy się jednak spodziewać, że pierwsza ta próba stosowania elektryczności do tak okropnych celów zarazem będzie ostatnią.

nego konduktora i pozwolili na to, żeby iskry przeska-kiwały między niemi, tedy potencyał, mając do pokonania opór, rzecz prosta, spadnie i energia ładunku wchodzącego do butelki będzie się zmniejszała o pewną wartość, odpowiadającą ilości ciepła, powstającej przy tworzeniu się iskry. Oprócz tego w pierwszym wypadku unikamy możliwości porażenia, bo elektryczność z wolna przechodzi do butelki.

2. Ładowanie zewnętrznej zbroi elektrycznością +. Bierzemy guzik butelki do ręki i zewnętrzną zbroję stykamy z głównym konduktorem. Lub też możemy dodatni konduktor maszyny połączyć z ziemią a odosobnić konduktor odjemny, guzik zaś zetknąć z tym ostatnim, jak to świeżo objaśniliśmy.

3. Oba konduktory są izolowane. Umieść butelkę na stoliku izolującym i połącz guzik drutem z konduktorem głównym lub ubocznym, zupełnie jak to czyniliście, chcąc otrzymać elektryczność + lub — na zbroi wewnętrznej; zewnętrzną zaś zbroję łączymy z innym biegunem lub konduktorem.

4. Wyładowanie butelki. Postaw butelkę na stole. Biorąc wyładowywacz za rączkę izolującą b, jedną gałązkę a przytknij do zewnętrznej zbroi, a drugą stopniowo przybliż do guzika. Skoro butelka ma znaczną pojemność i dobrze jest naładowana, powstaje potężna iskra i głośny trzask. Nareszcie potrzymajmy wyładowywacz przez krótki czas w położeniu zaznaczonym na figurze w celu wydobywania wszystkiego pozostałego ładunku.

5. Powolne wyładowywanie butelki przez kolejne wydobywanie powolnych ładunków. Stawiamy butelkę lejdej-

ską na izolowanym stole drewnianym; dotykamy guzika T i tym sposobem wyładowujemy małą ilość wolnej elektryczności na zbroi wewnętrznej, poczem dotykamy zbroi zewnętrznej i tak naprzemian, aż butelka będzie w zupełności wyładowana jak w wypadku prostego kondensato-

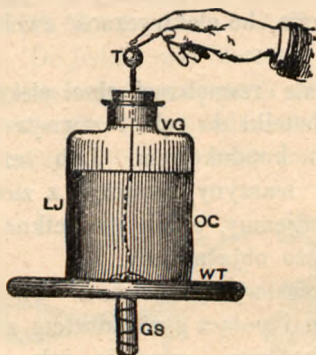


Fig. 329. Wyładowywanie wolnego ładunku izolowanej butelki lejdejskiej.

Objaśnienie figury.

LJ	oznacza	butelkę lejdejską
T	"	guzik (połączony ze zbroją wewnętrzną za pomocą łańcuszka lub drutu)
VG	"	szkło lakierowane (wewnątrz i zewnątrz)
OC	"	zbroję wewnętrzną z cynfolii
WT	"	stół drewniany
GS	"	podstawę szklaną.

ra, objaśnionym w ciągu doświadczeń XXI wyp. 2. Zupełnie podobną rachubę liczebną możnaby przeprowadzić i w tym razie.

6. Wyładowywanie butelki przez materiały palne. Świetna iskra, powstająca przy wyładowywaniu butelki

lejdejskiej za pośrednictwem wyładowywacza, jest oznaką nadzwyczajnego ciepła, jakie powstaje podczas łączenia się elektryczności $+$ i $-$, i doprowadza powietrze aż do świecenia. Gdybyśmy, mając butelkę lejdejską w ręku lub połączymy jej zbroję zewnętrzną

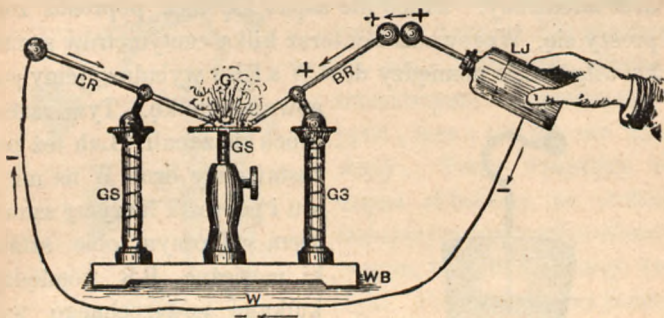


Fig. 330. Zapalenie prochu strzelniczego, położonego na stoliku wyładowywacza powszechnego.

z rurą gazową za pośrednictwem drutu przysunęli guzik do palnika, z którego wychodzi gaz, tedy iskra, przeskakująca pomiędzy guzikiem a metalem palnika, zapaliłaby gaz. Zapalające działanie wyładowania jeszcze się potęguje, skoro umieścimy na jego drodze umiarkowany opór. Chcąc to działanie wyjaśnić, weźmy *wyładowywacz powszechny**) widoczny na załączonej figurze. Końce je-

*) Korzyść z zastosowania tego przyrządu polega na tem, iż wszystkie jego części są przesuwalne: mały stolik daje się podnosić i zniżać, sztabki zaś mosiężne BR, służące do wyładowywania, dają się ustawiać w dowolnej odległości od siebie i od ciała badanego.

go BR ustawiamy w odległości 0,6 cm nad stołem. Sypiemy pomiędzy nie suchego prochu strzelniczego tyle, żeby utworzona górką wypełniła odstęp i wyładowujemy butelkę lejdejską (jak na figurze), biorąc do połączenia sztabki wyładowywującej BR ze zbroją zewnętrzną grubego drutu miedzianego. Proch nie zapali się lecz poprostu rozproszy się. Wprowadzamy teraz kilka centymetrów sznurka wilgotnego pomiędzy drut W a BR i wyładowujemy po-

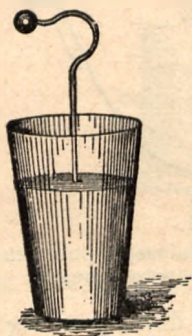


Fig. 331. Butelka lejdejska
o zbrojach wysuwanych.

Tym razem proch się zapali. Lub też pozostawiamy drut W na miejscu i poprostu łączymy sznurkiem wilgotnym obie sztabki mosiężne BR pomiędzy kulkami powszechnego wyładowywacza: proch również się zapali. Ostatnie zjawisko będziemy mogli objaśnić dopiero znacznie później na kursie wyższym, na mocy najświeższych odkryć dr. Lodge'a.

Siedlisko ładunków w kondensatorze lub butelce lejdejskiej. Benjamin Franklin odkrył, że siedliskiem ładunków jest powierzchnia dielektryka, nie zaś zbroje metalowe. Daje się to okazać klasie w sposób bardzo uproszczony.

Doświadczenie XXIV. Bierzymy butelkę lejdejską kształtu załączonego, ładujemy ją z maszyny elektrycznej i stawiamy na stoliku izolowanym. Następnie usuwamy

zbroję wewnętrzną JC zapomocą pręta izolującego według figury 332 i podajemy ją uczniowi. Biorąc ją, nie dozna on żadnego wstrząśnienia. Usuwamy dielektryk D (szkłanka do picia) biorąc za część lakierowaną V tak jak na fig.



Fig. 332. Rozłączone części butelki lejdejskiej o zbrojach wysuwanych.

332 i podajemy ją drugiemu uczniowi, bacząc aby brał ją tylko za brzeg. Nie poczuje on nic. Wreszcie niechaj trzeci trzyma zewnętrzną zbroję OC, lecz i ten nic nie zauważy. Teraz wszystkie te części składamy na stoliku izolującym w porządku odwróconym, lecz bez zmiany kolejki. Poprośmy teraz jednego z uczniów, by dotknął się jednocześnie zewnętrznej i wewnętrznej zbroi, wówczas dozna on *potężnego wstrząśnienia* zupełnie tej miary co poprzednie, gdy butelka wyładowywała się bez rozłączania i składania nanowo.

Dowód to oczywisty, że podczas odsuwania zbroi ładunki pozostają na dielektryku, lecz czy ma to miejsce wtedy, gdy zbroje pozostają na miejscu, tego nie wiemy. Prawdopodobnie zbroje dotykają się dielektryka tylko w kilku miejscach, przyciąganie zaś, które wiąże do siebie ładunki $+$ i $-$, trzyma je tak mocno, że podczas odsuwania zbroi nie dają się usunąć.

Łączenie butelek lejdejskich w baterye.

1. *Równoległe na ilość.* Wszystkie zbroje wewnętrzne łączymy ze sobą zapomocą drutu przewodniego, wszystkie zaś zewnętrzne przez to, że wszystkie butelki ustawiamy w pudle wyłożonym cynfolią jak na załączonej figurze.

Jeżeli w bateryi mamy n butelek jednakowej pojemności C , pojemność wszystkich wynosi nC . Jeśli nadto potencyał ładunku wynosi V , tedy całkowita ilość elektryczności $= nVC$.

2. *Szeregowe „na wysoki potencyał”.* Ładujemy każdą z butelek z osobna zwykłą drogą. Każdą butelkę po naładowaniu stawiamy na blacie szklanym izolującym ze szkła werniksowanego, stojącym na nóżkach szklanych werniksowanych. Guzik pierwszej łączymy z zewnętrzną zbroją 2-ej butelki, przez wyładowywacz izolujący, guzik 2 ze zbroją zewnętrzną 3 w ten sam sposób; i tak dalej dla wszystkich n butelek, zostawiając jednak guzik n -tej butelki swobodnym. Niechaj C będzie pojemnością każdej butelki a V potencyałem każdej przed połączeniem. Gdy 1 i 2 złączone są razem, tedy mają różnicę potencyału $2V$. gdy 1, 2 i 3 są złączone, tedy różnica potencyału wynosi $3V$ i t. d., tak, że ostatecznie guzik n -tej butelki posiada potencyał o nV wyższy od potencyału zbroi zewnętrznej w pierwszej butelce. Największa przeto odległość, na jaką można teraz odsunąć gałkę wyładowacza od skrajnych zbroi, zanim się zjawi iskra, jest daleko większa niż w pierwszym wypadku, gdy potencyał był V ; lecz ilość ładunku, oczywiście, jest tylko równa ilości jednej butelki, czyli $Q = CV$.

Urządzenie tu opisane nie jest dawnym, niekorzystnym sposobem sprzęgania w *kaskadę*, przyczem połączenia wykonywają się ściśle tak samo, jednakże bez uprzedniego ładowania butelki; tak uszykowana całkowita bateria łąduje się przez połączenie wewnętrznej zbroi ostatniej butelki i zewnętrznej pierwszej z odpowiednimi biegunami + i — maszyny. Wtenczas oczywiście cała różnica potencjału jest tylko V , a więc w pojedynczych butelkach

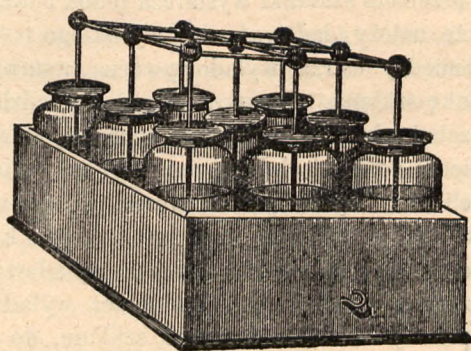


Fig. 333. Bateria lejdejska, czyli butelki sprzężone „co do ilości.”

$\frac{1}{n} V$ i podług tego cała bateria posiada ładunek tylko $Q = \frac{C}{n} V$, jeśli C jest pojemnością jednej butelki. Bateria przeto kaskadowa zachowuje się tylko tak jak pojedyncza butelka o dielektryku n razy grubszym i pojemności, stanowiącej $\frac{1}{n}$ pojemności butelki pojedynczej.

Tymczasem pozwolimy sobie zamieścić jeszcze kilka zajmujących doświadczeń ze zwyczajną baterią lejdejską.

Doświadczenie 1. *Działanie mechaniczne.* Umieścimy pomiędzy kulkami zwyczajnego wyładowywacza kawałek grubej tektury. Iskry przebijają ją; przytem brzegi otworu z obu stron tworzą zagłębienie w rodzaju krateru. Otwór tym jest większy, im większą jest ilość i napięcie wyładowania.

Do przebicia szklanki wystarcza jedna butelka, którą jednakże należy ładować do wysokiego potencjału. Jeżeli pomiędzy ostrza wyładowywacza wstawimy po prostu płytkę szklaną, tedy iskra ślizgać się będzie naokoło powierzchni szkła. By się od tego uchronić, należy szkło otoczyć cieczą dobrze izolującą, najlepiej zaś naftą.

Jeżeli iskra będzie przeskakiwała we wnętrzu moździerza, którego otwór zamknięty jest szczelnie kulą leżącą swobodnie, tedy ta ostatnia podczas wyładowania będzie wyrzucona w powietrze. Podobnież wyładowaniem możemy przebijać kuliste naczynie szklane, do którego zdołu przylutowana jest rurka szklana kształtu U do połowy wypełniona wodą (manometr); w chwili wyładowania woda w ramieniu rurki, zetkniętym z powietrzem zewnętrznym podskakuje żywo do góry. Przyrząd ten nazywa się „*termometrem elektrycznym*“ Kinnarsley'a; podobnież jak w poprzednim doświadczeniu z t. zw. *moździerzem elektrycznym*, powietrze jest tu przeważnie mechanicznie wyrzucone, do czego przyczynia się w pewnym stopniu niewielkie rozgrzanie. Owóż mechaniczne wyrzucenie jest też przyczyną mocnego trzasku,

dającego się zauważyć przy powstawaniu iskry, szczególnie potężnego w razie błyskawicy.

Jeśli wytworzymy przesłakiwanie iskry pod wodą, pomiędzy dwoma zaostrzonymi drutami wtopionymi aż po ostrza w rurki szklane, które zanurzone są w szklanej, szerokiej rurze, napełnionej wodą, przy zachowaniu odległości blisko $\frac{1}{2}$ cm między przeciwległymi ostrzami, tedy nacisk na wodę będzie tak duży, iż rura zostanie zgruchotana.

2. *Działania cieplne.* Wysoką temperaturę iskry, którą poznaliśmy wyżej, możemy jeszcze okazać, przepuszczając wyładowanie dużej baterji lejdejskiej przez kwiat siarczany; po wyładowaniu siarka stapia się, przybierając formę rurki; której wewnątrz odpowiada przebiegowi iskry. Przy bardzo dużych baterjach udaje się to doświadczenie nawet z proszkiem szklanym. Na większą skalę odnajdujemy zjawisko to w naturze mianowicie gdy wyładowania piorunów przebijają suchą glebę piaszczystą; wówczas ziarenka piasku stapiając się, przyjmują formę t. zw. *rurek piorunowych*.

Wyładowanie baterji, które co do swojej istoty wszak jest prądem elektrycznym o bardzo krótkim trwaniu, wytwarza dalej w *przewodnikach*, które przebywa, ciepło. Przewodniki cienkie stapiają się przytem a nawet zmieniają w parę. Najmocniejsze działania występują zawsze w tych miejscach, gdzie iskra trafia na metal; najczęściej bywa on w tych wypadkach zniszczony nawet gdy jest dość grubym by przewodzić wyładowanie bez topienia się. Wielce pouczającym w tym względzie jest następujące doświadczenie: pomiędzy kule wyładowywacza po-

wszechnego, odległe od siebie o jakie 1,5 cm, wprowadzamy kawałek grubej cynfolii. Wyładowanie baterii odbywa się w taki sposób, ażeby suma dróg iskry w powietrzu była najmniejsza; jeśli przytem cynfolia przypadkowo nie jest prostopadłą do linii środkowej obu kul, tedy miejsca, w których iskra natrafia na cynfolię, nie zlewają się i w każdym takim miejscu otrzymujemy w cynfolii jeden tylko otwór. Doświadczenie to wskazuje, że *rury gazowe i wodociągowe wszędzie, gdzie zbliżają się do piorunochronu, niechybnie powinny być dobrze z nim metalicznie połączone, w celu uniknięcia zniszczenia przewodników przez działanie iskry wyskakującej z piorunochronu.*

Pytania do wykładu XXXIV.

1. Opisz doświadczenie wyjaśniające działanie ostrzy na wyładowanie maszyny taflowej Winter'a.

2. Chmura piorunowa dodatnio naładowana przechodzi ponad zaostrzonym konduktorem. W ogólności chmura taka pozbywa się swojego ładunku elektrycznego, skutkiem działania konduktora. Jak się to odbywa?

3. Opisz doświadczenie z maszyną Winter'a, wyjaśniające działanie płomieni na wyładowanie; opierając się na tych wynikach, wytłomacz w jaki sposób ogień na wyniesieniu może wyładować elektryczność atmosferyczną albo błyskawice.

4. Opisz własnymi słowy wyładowanie raptowne, nieustające, świecenie elektryczne, kiść i iskrę.

5. Pomiędzy głównym konduktorem maszyny elektrycznej a położonym w jej pobliżu guzikiem metalowym, połączonym z ziemią, przebiega iskra. Opisz zmiany, zachodzące w wyglądzie iskry, skoro stopniowo będziemy odsuwali guzik od głównego konduktora.

6. Kula naelektryzowana, izolowana, połączona została z elektroskopem zapomocą długiego drutu, poczem listki się rozchodzą. Wówczas przesuwamy kulę w inne położenie, utrzymując jednak wciąż jej połączenie z elektroskopem zapomocą drutu. Jak roztrzygniemy, czy dla kuli nastąpiła jakakolwiek zmiana potencyału? Uzasadnij odpowiedź.

7. Dwie równe, izolowane i nienaładowane kule B i C, umieszczone zostały z przeciwległych stron naładowanej kuli A i w równych od niej odstępach. Jaki jest stan elektryczny B i C i co się stanie, jeśli część B zbliżoną do A połączymy cienkim drutem z częścią C oddaloną od A?

8. Opisz doświadczenie, które posłuży do wyjaśnienia działania kondensatora elektrycznego.

9. Naszkicuj przekrój butelki lejdejskiej, opisz jej budowę i wyłóż szczegółowo co następuje w razie ładowania i wyładowywania butelki.

10. Proszą cię o zrobienie małej butelki lejdejskiej; jak sobie postąpisz? Po zrobieniu butelki proszą cię o naładowanie jej; jak to wykonasz? W dalszym ciągu masz objaśnić w zupełności to co się dzieje podczas ładowania i wyładowywania twojej butelki lejdejskiej.

11. Przy dotknięciu guzika naładowanej butelki lejdejskiej, stojącej na podłodze lub zwyczajnym stole, doznajesz wstrząśnienia elektrycznego; lecz jeśli staniesz lub umieszczysz butelkę na suchym podkładzie żywicznym, tedy nie doznasz wstrząśnienia za dotknięciem guzika. Objaśnij to.

12. Wewnętrzna zbroja butelki lejdejskiej zapomocą drutu została połączona z głównym konduktorem maszyny elektrycznej tudzież z elektroskopem o złotych listkach. Skoro butelka stoi na tafli szklanej, ćwierć obrotu maszyny wystarcza do wywołania znacznego rozchylenia listków elektroskopu. Gdy szkło zostanie odsunięte, potrzeba dziesięciu obrotów ręczki do wytworzenia tego samego odchylenia. Objaśnij to.

13. Ktoś trzyma w ręku naładowaną butelkę lejdejską za zbroję zewnętrzną, ktoś inny trzyma podobną butelkę nie-

naładowaną. Co się stanie, skoro guziki obu butelek zostaną do siebie przytknięte?

14. Opisz szczegółowo, w jaki sposób możesz naładować butelkę lejdejską z dodatniego konduktora maszyny elektrycznej tak, aby dowolnie można było otrzymać na zbroi wewnętrznej ładunek dodatni lub ujemny.

15. Na stole mającym blat szklany, ustawiono maszynę elektryczną, niema jednak sposobu połączenia jej elektrycznego z ziemią. Co uczynisz, by naładować butelkę lejdejską z tej maszyny?

16. Butelka lejdejska wisi w powietrzu na sznurku jedwabnym; guzik butelki połączony jest z maszyną elektryczną a jego zbroja zewnętrzna drutem z szeroką rurą gazową. Co się dzieje w tym drucie zewnętrznym, kiedy maszyna jest czynną i dlaczego? Coby się stało, gdyby sznur zrobiony był ze zwykłych konopi? Daj odpowiedź jak najjaśniejszą i wy-czerpującą.

17. Naelektryzowana kula metalowa wprowadzona została do suchej rurki szklanej zamkniętej w jednym końcu; potem, trzymając rurkę w ręku, zbliżamy ją do gałki elektroskopu. Jaki to odniesie skutek na elektroskop, jeśli rurka zewnętrzna zostanie 1) pokryta 2) niepokryta cynfolią.

18. Ładujemy butelkę lejdejską, trzymając ją w ręku za zbroję zewnętrzną i zbliżając guzik do głównego przewodnika maszyny elektrycznej. Gdybyśmy chcieli naładować butelkę do potencjału możliwie najwyższego, czy musielibyśmy zetknąć guzik z głównym konduktorem, lub też trzymać go od niego w pewnej niewielkiej odległości? Uzasadnij swoją odpowiedź.

19. Butelka lejdejska została dwa razy naładowaną i wyładowaną. W pierwszym razie guzik utrzymywany był w odległości 1 cm od głównego konduktora maszyny elektrycznej, w drugim razie guzik był zetknięty z głównym konduktorem. W obu razach maszyna była czynną jednakowo długo. W którym razie iskra przy wyładowaniu będzie świe-tniejsza? Uzasadnij to.

20. Jeden koniec drutu miedzianego, powleczonego gutaperką, połączono z maszyną elektryczną, drugi zanurzono w płynie nieprzewodzącym. Skoro maszyna była czynną, płyn się poruszał. Wytlómacz to.

21. Opisz doświadczenie, dowodzące, że dwa ostrza posiadają ten sam potencjał, chociaż jedno naładowane jest elektrycznością dodatnią, zaś drugie jest albo nienaładowane, albo naładowane ujemnie.

22. Ciało dodatnio naelektryzowane zostało przybliżone po kolei 1) do konduktora izolowanego nienaelektryzowanego, 2) do konduktora połączonego z ziemią. Jaki będzie potencjał nienaelektryzowanego konduktora w każdym z tych wypadków?

23. Jak objaśnimy ten fakt, że butelka lejdejska nie daje się wysoko naładować, dopóki jej zewnętrzna zbroja połączona jest z ziemią?

24. Opisz doświadczenie, które wskazuje, iż podczas ładowania kondensatora przez zetknięcie jego blach z biegunami mocnej baterii pojawia się tam prąd elektryczny. Objaśnij, dlaczego ten prąd jest tylko chwilowy.

25. Dlaczego piorunochron w gmachu powinien być połączony zapomocą dobrych przewodników z wszelkimi większymi masami metalu a zwłaszcza z przewodami gazowemi i wodociągowemi?

WYKŁAD XXXV.

Treść: Prawo Coulomb'a. — Absolutna elektrostatyczna jednostka elektryczności. — Pole elektryczne i linie siły. — Natężenie pola elektrycznego i potencjał elektrostatyczny. — Powierzchnie stałego potencjału albo powierzchniowo równomierne. — Indukcja elektrostatyczna w przewodnikach. — Potencjał i ładunek przewodnika. — Gęstość powierzchniowa i napięcie powierzchniowe przewodnika. — Wyładowanie elektryczne. — Praca ładowania i energia wyładowania. — Pytania.

Prawo Coulomb'a. Podobnie jak dla magnetyzmu Coulomb ustalił i dla elektryczności pewne prawo zasadnicze, podług którego wykonywają się wszystkie działania. Prawo to podaliśmy na str. 287, tutaj zaś powtórzymy je raz jeszcze w formie nieco zmienionej.

Dwie masy elektryczne kształtu punktu w stanie spoczynku wywierają na siebie w kierunku linii łączącej te punkty materialne siłę, której wielkość jest wprost proporcjonalna do iloczynu z wartości obu mas i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu ich wzajemnej odległości. Jeżeli masy są jednakowe, tedy siła jest odpychająca, jeżeli są niejednakowe, tedy siła jest przyciągająca.

Dowód tego prawa zyskujemy zapomocą wagi skręceń — zbudowanej podobnie do tej, jaką opisaliśmy w magnetyzmie. Składa się ona z lekkiej belki do ważenia WW (fig. 334) zrobionej z szellaku lub flintglasu, która wisi na cienkim drucie mosiężnym. Górny koniec tego drutu połączony jest z urządzeniem skręcającym T, które mieści się na rurze szklanej R. Rura ta pionowa przytwierdzona jest do pokrywy metalowej MM, która spoczy-

wa na cylindrycznym kloszu szklanym GG i uszczelniona jest paskiem sukna tak, żeby się jeszcze mogła obracać. Klosz ten spoczywa w szparze okrągłej, wyżłobionej w podstawie HH drewnianej lub metalowej, która posiada

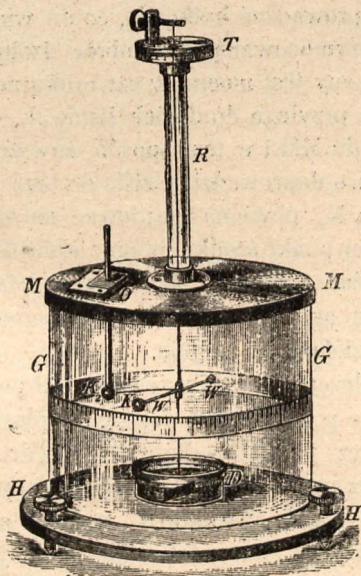


Fig. 334. Waga skręceń Coulomb'a.

śrubki do ustawiania; szpara uszczelniona jest również suknem. Do belki wagi WW z jednej strony przyklejona jest mała, możliwie lekka kulka (z połączanego rdzenia bżowego) K₁, zrównoważona przeciwwagą. W celu hamowania wahnięć, z belką wagi połączona jest zapomocą sztywnego drutu platynowego blacha platynowa, zanurzo-

na w naczyniu D, zawierającym stężony kwas siarczany; kwas siarczany zarazem służy do tego by powietrze w domku utrzymywać w stanie suchym. W metalowej pokrywie w O znajduje się obszerny otwór, przez który można wprowadzać kulkę K_2 , co do wielkości równą kulce K_1 i przymocowaną do dobrze izolującego pręta. Pręt ów osadzony jest mocno w czworokątnej płytce metalowej, która przylega do dwóch listewek, mocno przyśrubowanych do MM i w ten sposób zawsze z łatwością daje się nanowo doprowadzić ściśle do tego samego położenia. Kulka K_2 powinna znajdować się w takiej wysokości, ażeby jej punkt środkowy oraz kulki K_1 leżały w jednej płaszczyźnie poziomej. W tej samej płaszczyźnie poziomej naokoło cylindra szklanego naklejoną jest skala z papieru podzielona na stopnie.

Doświadczenia: 1. Ustawiamy HH poziomo i obracamy dowolnie pokrywę MM dopóty, aż płaszczyzna przechodząca przez punkt środkowy K_2 i drut zawieszenia przejdzie przez punkt O na skali HH. Następnie obracamy indeks koła skręceń, aż kulka K_1 zetknie się z kulką K_2 i wtedy zauważymy stan indeksu (wygodne jest hamowanie indeksu zapomocą śrubki, wtedy bowiem początkowe jego położenie daje się również doprowadzić do punktu O skali T).

2. Wyjmujemy K_2 , nadajemy jej ładunek + lub —, poczem przywracamy na miejsce. Wtedy za dotknięciem połowa jej ładunku przechodzi na K_1 i następuje odpychanie. Belka wagi WW obraca się. Obracamy teraz krążek skręcający o tyle stopni w kierunku odwrotnym, aby belka wagi utworzyła z płaszczyzną zera kąt określony np. 10° ;

niechaj ten obrót wynosi około 50° . Wtedy całkowite skrócenie drutu $= 10 + 50 = 60^\circ$ i proporcjonalne jest do siły odpychającej pomiędzy K_1 i K_2 .

3. Kręcimy T z powrotem do położenia początkowego, wyjmujemy K_2 , wyladowujemy i wkładamy nanowo. Wtedy K_1 znowu jest przyciągana i dotyka K_2 ; przytem ładunek jej w połowie przechodzi na K_2 . Następnie K_1 odpycha się nanowo; ale żeby teraz zredukować kąt wychylenia do 10° , należy obrócić krążek skracający tylko o 5° , czyli całkowite skrócenie wynosi $10^\circ + 5^\circ = 15^\circ$, a więc 4-ą część tego co poprzednio, czyli połowa poprzedniej ilości elektryczności wywiera na połowę tylko 4-ą część siły. Tym sposobem dowiedliśmy pierwszej połowy prawa.

4. Wyladowujemy K_1 i K_2 i postępujemy zupełnie tak jak w wyp. 2. Potem zmniejszamy skrócenie o tyle, ażeby kąt odchylenia belki wagi był dwa razy tak duży, czyli 20° . Znajdujemy, iż teraz musimy obrócić guzik skrócenia o 5° w tym samym kierunku tak, że skrócenie wynosi już tylko $20 - 5 = 15^\circ$. Ponieważ w przybliżeniu odległość między obiema ilościami elektryczności jest dwa razy taką jak na początku, przeto w ten sposób dowiedzioną została druga część prawa*).

Absolutna elektrostatyczna jednostka elektryczności. Zupełnie tak jak w magnetyzmie, możemy zastosować i do

*) W razie ściślejszej teorii należy zresztą baczyć i na to, by siły działały w kierunku cięciwy łuku koła; wtedy należy również uwzględnić zmianę rozmieszczenia na K_1 i K_2 przy zmianie odległości.

elektryczności prawo Coulomb'a w celu określenia *jednostki ilości elektryczności*, mówimy tedy:

Przez elektrostatyczną jednostkę ilości elektryczności rozumiemy tę jej ilość, która umieszczona na bardzo małej kuli, wywiera na równowartą ilość elektryczności, umieszczoną również na bardzo małej kuli, przy odległości środków obu kul 1 cm, siłę 1 dyny.

Wymiar jej przeto jest ściśle ten sam co bieguna magnetycznego, czyli

$$\text{Wymiar } Q = \text{cm}^{3/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}.$$

Pole magnetyczne i linie siły. Dialektryk otaczający ciało elektrycznie naładowane podlega podobnemu stanowi wysiłu co przestrzeń w pobliżu magnesu. Ten stan wysiłu ujawnia się w siłach, którym podlega pewna ilość elektryczności umieszczona w rozmaitych okolicach przestrzeni. Przestrzeń tę zowią *polem elektrycznym*.

Wyobraźmy sobie według Faraday'a, że *pole elektryczne*, zupełnie tak samo jak poprzednio pole magnetyczne, przecinają *linie sił* t. j. te linie, których kierunek wszędzie zlewa się z kierunkiem siły, wywieranej na *dodatnią* ilość elektryczności. Te linie sił przedstawiałyby zatem owe drogi, po których mogłaby się poruszać dodatnia ilość elektryczności kształtu punktu, pozbawiona wszelkiej bezwładności; ujemna ilość elektryczności poruszałaby się dokładnie w kierunku przeciwnym. Gdyby więc na miejscu dodatniej lub ujemnej ilości elektryczności znajdowało się bardzo małe ciało przewodzące, tedy okazałoby się w nim pewne *przesunięcie* elektryczności + *w kierunku* linii sił oraz elektryczności — *w kierunku przeciwnym*, t. j. ciało

ładowałyby się przez indukcję, co też widzieliśmy poprzednio. Zamiast linii sił możemy tedy używać równowarto- go wyrażenia *linie indukcji*.

To *przesunięcie elektryczności* zjawia się w ośrodku dielektrycznym, przeciętym przez elektryczne linie siły, zupełnie tak jak magnetyczne przesunięcie zjawia się w ośrodku magnetycznym, przeciętym przez magnetyczne linie siły, czyli rozpościera się ono tutaj na *najmniejsze cząsteczki* albo molekuly ośrodka. Musimy więc sobie wy- stawiać dielektryk jako złożony z samych pojedynczych cząsteczek przewodzących, oddzielonych od siebie ciałem izolującym; cząsteczki te, skoro linie siły elektrycznej przechodzą przez ośrodek, ładują się w miejscu wejścia odjemnie, w miejscu wyjścia dodatnio, mniej więcej zgo-

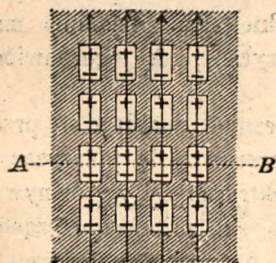


Fig. 335. Polaryzacja dielek- tryczna.

dnie z figurą powyższą. Pod- czas gdy przeciwne elektrycz- ności w końcach cząsteczek zwróconych do siebie przy- ciągają się, w ośrodku po- wstaje pewien stan wysiłu, w kierunku linii sił. Podczas gdy końce obok siebie poło- żone, naelektryzowane jedno- imiennie, odpychają się, po- wstaje pewien stan wysiłu w kierunku prostopadłym do

linii sił, zupełnie jak to dawniej poznaliśmy w ośrodku spolaryzowanym magnetycznie. Ten stan wysiłu ośrodka nazywamy według Faraday'a *polaryzacją dielektryczną*.

Ta polaryzacja dielektryczna przez czas dłuższy mo- że istnieć tylko w pewnych ośrodkach, zwanych *izolatora-*

mi, za to w przewodnikach stan ten rozpada się już po upływie drobnego ułamka sekundy, przytem energia położenia, warunkowana przez ten stan, zamienia się w ciepło. Im prędzej ów czas upływa, tym lepszym jest przewodnik; im dłuższy jest ten czas, tym lepszy jest izolator. Pomiedzy temi dwoma rodzajami ciał nie możemy sobie wystawić żadnej przerwy, słowem niema absolutnych przewodników ani absolutnych izolatorów.

Podczas powstawania polaryzacji dielektrycznej przez każdą powierzchnię AB (fig. 335) przesuwają się pewna ilość elektryczności *+* w kierunku linii sił, zaś równa ilość *—* w kierunku przeciwnym. Ponieważ dla każdej powierzchni równoległej do AB istnieje to samo, przeto w kierunku linii sił mamy ruch elektryczności *+* i w kierunku tamtym przeciwnym ruch *—*, podobnie jak dla prądu elektrycznego. W rzeczywistości owe przesunięcia elektryczne wywołują zupełnie takie same działania magnetyczne, jak inne prądy elektryczne, jak tego dowiódł poraz pierwszy Röntgen.

Jeżeli w ośrodku dielektrycznym znajduje się przewodnik, tedy w jego wnętrzu przerywa się polaryzacja dielektryczna, bo przeciwne elektryczności wyrównują się pomiędzy zwróconemi do siebie końcami cząsteczek, co wyobrażać ma fig. 336. A zatem na powierzchni granicznej, gdzie linie sił napotykają przewodnik, powstaje swobodna elektryczność *—*, podczas gdy na drugiej stronie swobodna *+*. *Linie sił zatrzymują się tedy na przewodniku, tam zaś gdzie się kończą, znajduje się swobodny ładunek —; z przeciwległej strony przewodnika linie*

sił nanowo się pojawiają i tam, gdzie się one zaczynają, znajdujemy swobodny ładunek $+$.

W ten sposób mamy sobie wyobrażać ów przebieg, który dawniej oznaczyliśmy mianem *indukcji elektrostatycznej* lub *wpływu elektrostatycznego*. Zaznaczymy zresztą różnicę pomiędzy liniami

sił elektrycznymi a magnetycznymi. Pierwsze zaczynają się i kończą na przewodnikach, ostatnie za to są liniami całkowicie zamkniętymi. Wiąże się to z tym faktem, że w ogólności *nie ma przewodników magnetyzmu* w tym znaczeniu, jakie mają przewodniki elektryczności; raczej wszystkie ciała pod względem zachowania swego wobec magnetyzmu dają się tylko porównywać z ośrodkami dielektrycznymi albo izolatorami; *nie ma bowiem ośrodka, w którymby stan wysiłu, wy-*

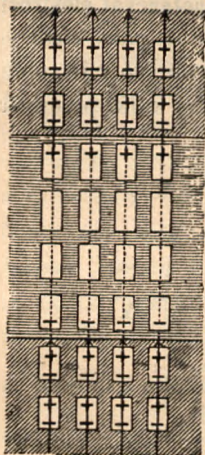


Fig. 336. Przewodnik we-
wnątrz spolaryzowanego
izolatora.

wolany przez polaryzację magnetyczną, rozpadał się w sposób podobny do wysiłu polaryzacji dielektrycznej wobec prądu elektrycznego w przewodniku. Właściwie więc nazwa „*prąd magnetyczny*“, której, stosownie do przyjętego obecnie w technice sposobu mówienia, użyliśmy poprzednio na oznaczenie wszystkich linii sił pola magnetycznego, jest *bardzo źle obraną*, chodzi tu bowiem zawsze

o trwałe utrzymywanie pewnego stanu wysiłu, tymczasem w razie prądu elektrycznego chodzi właśnie o ciągle rozpadanie się tego stanu. Polaryzacja magnetyczna ciał magnetycznych i (diamagnetycznych) daje się więc porównać tylko z polaryzacją dielektryczną najdoskonalszych izolatorów.

Natężenie pola elektrycznego i potencjał elektrostatyczny. By zdobyć miarę dla natężenia pola elektrycznego w pobliżu ciała naładowanego, wyobraźmy je sobie przede wszystkim w postaci bardzo małej kulki przewodzącej,

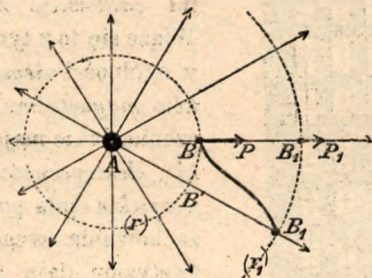


Fig. 337.

którą naładowano ilością Q jednostek elektryczności $+$, określonych jak wyżej. Niechaj kulka ta znajduje się sama jedra w przestrzeni nieskończonej, wypełnionej powietrzem. Wiemy, iż wtenczas elektryczność rozmieszcza się jednostajnie na powierzchni kulki; liniami zaś sił są przedłużone w nieskończoność promienie kulki.

By więc otrzymać, podobnie jak dawniej w magnetyzmie, stosunek pomiędzy liczbą linii sił a natężeniem pola, rozkładamy powierzchnię kuli na pojedyncze zamknię-

te obszary, z których każdy zawiera jedną tylko jednostkę elektryczności. Otrzymujemy tedy Q takich obszarów, w naszym wypadku równych co do powierzchni. Przez wszystkie punkty krawędzi tych obszarów prowadzimy linie sił, przez co cała przestrzeń rozpada się na Q rurkowatych obszarów, które oznaczamy mianem *rurek jednostkowych* albo *rurek indukcji*. Te rurki indukcji wychodzą z A i kończą się wszystkie na przewodnikach otaczających A (w danym wypadku w odległości nieskończenie wielkiej); *obszar, który taka rurka wycina na powierzchni przewodnika, na której się kończy, zawsze ładuje się jednostką elektryczności, przeciwną tej, którą zawiera A .*

Pomyślmy sobie teraz, że w pewnym punkcie B , który położony jest od A w odległości $AB = r$, istnieje jednostka elektryczności dodatniej i przypuśćmy, że skutkiem tego pole, przez A wytworzone, nie doznaje żadnej zmiany. Wtedy B odpychana jest od A z siłą $P = \frac{Q \cdot 1}{r^2}$ dyn.

Załóżmy tedy (podobnie jak dawniej w magnetyzmie)

$\frac{Q}{r^2} = N$ i nazwijmy N *natężeniem pola elektrycznego*. Mamy

przeto w ogólności działanie siły pola na dowolną ilość elektryczności Q' w kształcie punktu

$$P = NQ'.$$

Jeżeli ilość elektryczności Q' nie leży w punkcie B , lecz na tym samym promieniu ale w punkcie B_1 dalszym od A , tak że $AB_1 = r_1$, natężenie pola w tym miejscu

$N_1 = \frac{Q}{r_1^2}$ a więc siła wywierana na Q'

$$P_1 = N_1 Q'$$

Gdy więc pod wpływem sił elektrycznych ilość elektryczności Q porusza się od B do B_1 , to siły elektryczne *wykonywają pracę mechaniczną*, której wielkość otrzymujemy, skoro rozłożymy drogę BB_1 na same bardzo małe i równowarte kawałki dr , tak małe, że na każdym z nich siłę P możemy uważać jako stałą i wtedy utworzymy sumę

$$A = \sum P dr = Q' \sum N dr.$$

Suma ta jest całką określoną, którą możemy napisać

$$A = Q' \int_r^{r_1} N dr = Q' \int_r^{r_1} \frac{Q}{r^2} dr = Q' \left(\frac{Q}{r} - \frac{Q}{r_1} \right).$$

Zalóżmy teraz $\int N dr = -\frac{Q}{r} = -V$ i nazwijmy

V elektrostatycznym potencjałem ilości elektryczności Q w punkcie $B^*)$.

Podobnie $V_1 = \frac{Q}{r_1}$, byłoby potencjałem Q w punkcie B_1

a zatem $A = Q \left(V - V_1 \right)$; czyli rezultat ten wypowiedzieć możemy:

By otrzymać pracę mechaniczną, wykonywaną przez siłę elektryczną podczas ruchu masy elektrycznej kształtu punktu wzdłuż jednej z linii sił pola elektrycznego, należy masę tę pomnożyć przez różnicę potencjałów w punkcie początkowym i końcowym ruchu.

*) Podobne rozważanie podane zostało dla magnetyzmu na str. 153 t. I.

Gdybyśmy punkt B_1 wzięli nieskończenie daleko, tedy $r_1 = \infty$, a zatem $V_1 = 0$ czyli $A = Q'V$. W szczególnym wypadku gdy $Q' = 1$, mielibyśmy według wymiaru (lecz nie według nazwy) $A = V$. Możemy przeto potencjał V określić również w sposób następujący:

Definicja. Elektrostatyczny potencjał V w miejscu położonym w bliskości ciał, naładowanych elektrycznie, równa się pod względem wartości liczebnej pracy, wykonywanej przez siły elektryczne, gdy jednostka elektryczności dodatniej odbywa ruch od tego miejsca w nieskończoność.

A dalej mamy

$$\text{wymiar } N = \text{cm}^{-1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{wymiar } V = \text{cm}^{1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}$$

co też z łatwością wypada z równań ułożonych dla N i V , tudzież z wymiaru Q .

Powierzchnie stałego potencjału albo powierzchnie poziomu. Jeżeli będziemy przesuwali elektryczny punkt materialny B na fig. 337 w taki sposób, że kierunek ruchu zawsze pozostawać będzie prostopadłym do linii sił, tedy siły elektryczne nie będą wykonywały ani zużywały pracy. Powierzchnie, które wszystkimi swojemi częściami prostopadłe są do linii sił, nazywamy *powierzchniami stałego potencjału* albo *powierzchniami poziomu*. W naszym przykładzie są to powierzchnie kuliste, współśrodkowe do A (zaznaczone są na rysunku przez koła kropkowane). Ponieważ każde dowolne przesunięcie BB_1' można złożyć z dwu przesunięć, jednego BB' przypadającego w powierzchni poziomu, przechodzącej przez B , i drugiego $B'B_1'$ na linii siły idącej z B' do B_1' , a ponieważ tylko

przy ostatnim przesunięciu siły elektryczne wykonywają pracę $A = Q' (V - V_1)$, tedy w ogólności powiedzieć możemy:

Praca, wykonywana przez siły elektryczne podczas dowolnego przesunięcia punktu o masie elektrycznej Q' w polu elektrycznym, równa się iloczynowi Q' przez różnicę potencjałów w punkcie początkowym i końcowym ruchu.

Skoro przejdziemy się po linii siły od pewnego punktu mającego potencjał V , (czyli *prostopadle do powierzchni poziomu*) kawałek drogi naprzód w kierunku tegoż, tedy potencjał spadnie o niewielką wartość, którą oznaczymy przez dV . Załóżmy w naszym przykładzie

dla V wartość $V = - \int N dr$,

więc $dV = - N dr$ czyli

$$N = - \frac{dV}{dr}.$$

W ogólności rzecz można:

Dla natężenia N pola elektrycznego w punkcie B , w którym potencjał ma wartość V , zachodzi stosunek:

$$N = - \frac{dV}{dn},$$

który równa się odjemnej pochodnej potencjału V , wziętego w kierunku dodatniej normalnej do powierzchni poziomu, przechodzącej przez B , względem tej normalnej n ; kierunek dodatni tej normalnej jest zarazem kierunkiem linii siły, przechodzącej przez B .

Indukcja elektrostatyczna przewodników. Jeżeli w jakiegokolwiek pole elektryczne wprowadzimy przewodnik

tak, żeby leżał pomiędzy dwiema rozmaitemi powierzchniami poziomymi o wartościach potencjału V i V_1 , to powstanie w nim pewne przesunięcie elektryczne, przyczem elektryczność $+$ porusza się w kierunku spadającego potencjału, t. j. od końca przewodnika, przylegającego do

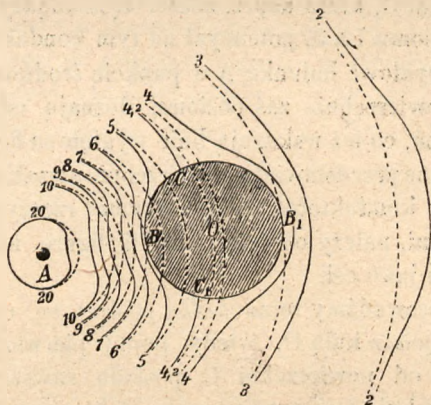


Fig. 338.

powierzchni poziomu o wyższym potencyale, do końca, przylegającego do powierzchni o niższym potencyale, zaś elektryczność $-$ porusza się w kierunku odwrotnym. *Ten ruch elektryczności odbywa się dopóty, dopóki we wnętrzu przewodnika zachodzi jeszcze jakakolwiek różnica potencjału t. j. aż powierzchnia przewodnika sama utworzy pewną część powierzchni poziomu, której wartość potencjału leży pomiędzy V a V_1 . Przez to pole elektryczne doznaje bardzo wyraźnej zmiany. Niechaj naprz. A na fig. 338 będzie bardzo małą kulą naładowaną 10 jednostkami $+$.*

Wtedy powierzchnie poziomu będą powierzchniami kulistymi 20, 10, 9 o promieniach

$$\frac{10}{20} = 0,5 \text{ cm}, \frac{10}{10} = 1 \text{ cm}, \frac{10}{9} = 1,1 \text{ cm} \dots\dots$$

Wprowadźmy w to pole kulę przewodzącą z punktem środkowym O, która naprz. mieści się pomiędzy powierzchniami poziomu 7 a 3; potencjał na tym konduktorze równa się potencjałowi ładunku A w punkcie środkowym O t. j. $= 4,2$, powierzchnie zaś poziomu doznają odpowiednich odkształceń, co też wskazują linie wygięte na fig. 338 (linie kropkowane przedstawiają powierzchnie niezakłócone przed zbliżeniem konduktora). Aby otrzymać rzeczywistą formę powierzchni, należy obrócić w myśli figurę naokoło linii środkowej jako osi.

Doprowadźmy teraz *kulkę próbną* na części $CB C_1$ do zetknięcia z kulą O, wtedy punkt pierwszej najdalej położony od powierzchni O posiada zawsze potencjał *wyższy* niż kula O; z tego powodu elektryczność $+$ płynie z kuli próbnej, która elektryzuje się odjemnie. Odwrotnie, koniec odwrócony próbnej kuli przylegającej do części $CB_1 C_1$ kuli O posiada zawsze potencjał *niższy* od O; elektryczność $+$ spływa od O na kulę próbną, która otrzymuje ładunek $+$. Gdy nareszcie dotknijemy kuli O na kole, które wykreślają punkty C i C_1 podczas obrotu figury naokoło linii AO, tedy koniec próbnej kuli odwrócony od O posiada zawsze *ten sam* potencjał co O, i dlatego niema tu żadnego ruchu elektryczności pomiędzy O a próbną kulą, nie może więc nastąpić żadne ładowanie tej ostatniej. Koło to jest t. zw. *pasem obojętnym*, gdy

część CBC_1 , kuli O posiada ładunek *odjemny*, część CB_1C_1 ładunek *dodatni*.

Przebieg tu opisany jest właśnie dawniej już omawianą *indukcją elektrostatyczną*. Ostatecznie dochodzimy do następującego wyniku:

Jeżeli w pole elektryczne wprowadzimy przewodnik, tedy w tym ostatnim powstanie przesunięcie elektryczności — w kierunku linii sił i elektryczności — w kierunku przeciwnym, potencjał zaś elektrostatyczny wszędzie na przewodniku przyjmuje pewną stałą wartość. Na przewodniku powstaje ładunek elektryczny tego rodzaju, iż potencjał jego wraz z potencjałem pola we wszystkich miejscach przewodnika posiada jedną i tę samą wartość.

Zresztą przebieg indukcji elektrostatycznej możemy sobie wystawiać w ten sposób, że skutkiem wprowadzenia przewodnika w pole natychmiast w przewodniku powstaje polaryzacja dielektryczna, która wszelako w nadzwyczajnie małym ułamku sekundy, może jednej bilionowej lub mniejszym, rozpada się zaraz napowrót, z czego tworzy się stan wystawiony na fig. 336. W dobrym izolatorze polaryzacja ta również rozpada się z czasem, ale potrzebuje na to prawdopodobnie wielu lat. Energia elektryczna pola w czasie tego rozpadu przemienia się w *ciepło*.

Gdy więc pomiędzy rozmaitemi punktami przewodnika nie wytworzymy żadnej nowej różnicy potencjału, tedy nastąpi w nim później *stan równowagi*; mówimy, iż przewodnik *naładowany jest elektrycznością statyczną*. Gdy jednak zapomocą zewnętrznych środków pomocniczych naprz. baterji galwanicznej lub t. p. będziemy wytwarzali

w przewodniku polaryzację dielektryczną z taką samą prędkością, z jaką się ona będzie rozpadała, tedy elektryczność w przewodniku będzie się znajdowała *w ciągłym ruchu*; powiadamy, że *w przewodniku przepływa prąd elektryczny*.

Potencyał i ładunek przewodnika. Wyobraźmy sobie naokoło elektrycznego punktu materialnego A (fig. 339) przewodzącą ciekłą powłokę kulistą, współśrodkową do A o promieniu zewnętrznym a (por. doświadczenie Faraday'a fig. 304, str. 264).

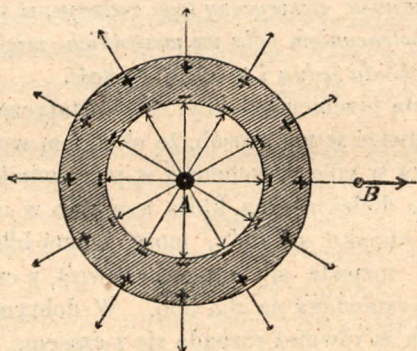


Fig. 339.

Wtenczas na stronie wewnętrznej znajdować się będzie ładunek $-Q$, a na zewnętrznej ładunek $+Q$, rozmieszczone przytem jednostajnie. We wnętrzu powłoki kulistej wartość potencjału wszędzie musi być ta sama, a że na zewnątrz, w kierunku i rozmieszczeniu linii sił nie zaszła żadna zmiana, więc i teraz w pewnym punkcie B, w odległości od punktu środkowego A, potencjał musi

się równać $\frac{Q}{r}$; tym sposobem na powłoce kulistej i wewnątrz niej potencjał powinien posiadać stałą wartość

$$V = \frac{Q}{a}.$$

Wystawmy sobie, że powłoka kulista wciąż grubieje; wtedy ostatecznie powierzchnia jej wewnętrzna zleje się całkowicie z A i ładunek $+Q$ w A zostanie zubożony przez $-Q$, bez j. kiejkolwiek zmiany nazewnątrz. Mamy wtedy kulę o promieniu a , jednostajnie naładowaną elektrycznością $+Q$, na powierzchni zaś kuli elektryczność znajduje się w równowadze. Potencjał tej elektryczności w punktach *zewnątrznych* $= \frac{Q}{r}$, gdzie r oznacza odległość punktu od środka kuli; na kuli oraz wewnątrz niej jest on równy $\frac{Q}{a}$, gdzie a oznacza promień kuli. $V = \frac{Q}{a}$ nazywamy również potencjałem kuli, jednostajnie naładowanej ilością elektryczności Q .

W ogólności w każdym przewodniku, naładowanym statyczną elektrycznością, rozmieszczenie tejże winno być takie, by potencjał ładunku na przewodniku i wewnątrz niego był staty, czyli innemi słowy, powierzchnia jego musi być powierzchnią poziomą.

Wobec tego linie sił opuszczają powierzchnię przewodnika stale w kierunku do niej prostopadłym albo normalnym.

Dla ładunku kuli z równania $V = \frac{Q}{a}$ wynika

$$Q = Va \text{ oraz } a = \frac{Q}{V}.$$

Już dawniej (str. 295) iloraz $\frac{Q}{V} = C$, określiliśmy jako *pojemność elektrostatyczną*. Wynika ztąd prawidłó następujące:

Pojemność elektrostatyczna kuli równa się jej promieniowi (patrz przykłady str. 295). *Pojemność elektrostatyczna posiada ten sam wymiar co długość, a więc wymiar $C = \text{cm}$* , czyli pojemności elektrostatyczne w mierze absolutnej wymierzają się centymetrami.

Gęstość powierzchniowa i napięcie powierzchniowe przewodnika. Jeżeli przestrzeń na fig. 339, dzieląca A od wewnętrznej powierzchni F_1 powłoki kulistej, wypełniona będzie *powietrzem* i bardzo mały kawałek tej powierzchni oznaczmy przez dF_1 , tedy suma iloczynów — $N_1 dF_1$ dla całej tej powierzchni kuli o promieniu danym a_1 równa się

$$\sum \frac{-Q}{a_1^2} dF_1 = -\frac{Q}{a_1^2} \sum dF_1 = -\frac{Q}{a_1^2} \cdot 4\pi a_1^2 = -4\pi Q$$

lub też

$$\frac{1}{4\pi} \sum -N_1 dF_1 = -Q$$

t. j. równa się całkowitemu ładunkowi powierzchni. Jeżeli teraz oznaczmy przez σ *gęstość powierzchniową elektryczności* (patrz str. 282), to — $Q = \sum \sigma \cdot dF_1$. Z równania

$$-\sum \frac{N_1}{4\pi} dF_1 = \sum \sigma \cdot dF_1$$

wyływa dla tej *powierzchni wewnętrznej*

$$\sigma = - \frac{N_1}{4\pi}.$$

Skoro ośrodek dzielący nie jest powietrzem, lecz jakimkolwiek innym izolatorem stałym lub płynnym, mamy w ogólności

$$\frac{D}{4\pi} \sum N_1 dF_1 = Q,$$

gdzie D jest stałą większą od 1 i zowie się *pojemnością indukcyjną właściwą* (patrz str. 334) lub *stałą dielektryczną* ośrodka.

Ostatnie równanie *w ogólności* ma znaczenie dla każdej powierzchni, która zewsząd otacza powierzchnię, naładowaną ilością elektryczności Q .

Podobnież dla *zewewnętrznej* powierzchni kuli, której promień oznaczyliśmy przez a

$$1/4\pi \sum N \cdot dF = Q$$

tudzież

$$\sigma = \frac{N}{4\pi}.$$

Ale podług str. 364 N posiada wartość

$N = - \left(\frac{dV}{dr} \right)_{r=a'}$ albo w ogólności dla dowolnej powierzchni przewodnika, naładowanej elektrycznością, $N = - \frac{dV}{dn}$, gdzie n oznacza normalną do powierzchni skierowaną *nazewnątrz* i uważaną za *dodatnią*, jeżeli kierunek jej *zlewa się z kierunkiem linii sił* [w przeciwnym razie za *odjemną*].

W ten sposób możemy w ogólności powiedzieć: *gę-*

stość powierzchniowa przewodnika naładowanego wszędzie posiada wartość

$$\sigma = \frac{N}{4\pi} = -\frac{1}{4\pi} \frac{dV}{dn}.$$

Każdy element ładunku powierzchni działa odpychająco na każdy inny element. Skutkiem tego wszystkie elementy podlegają siłom, które działają nazewnątrz w kierunku linii sił t. j. normalnych do powierzchni przewodnika, czyli powstaje *elektryczne napięcie* albo *ciśnienie*

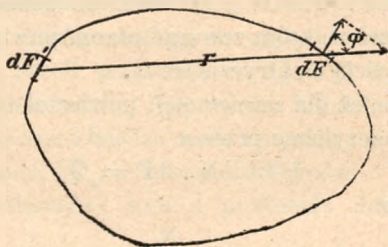


Fig. 340.

powierzchniowe. Aby obliczyć wielkość całkowitego napięcia powierzchniowego, działającego na powierzchnię przewodnika od wnętrza nazewnątrz, rozpatrzmy najpierw, jak działa element dF' o gęstości powierzchniowej σ' (patrz fig. 340).

Niechaj odległość obu wynosi r , a przedłużenie r poza element dF tworzy z zewnętrzną normalną do powierzchni kąt φ . Wtenczas składowa działania dF' na dF , przypadająca w kierunku tej normalnej, jest według prawa Coulomb'a

$$\sigma \cdot dF \cdot \frac{\sigma' dF'}{r^2} \cdot \cos \varphi,$$

bo $\sigma \cdot dF$ i $\sigma' \cdot dF'$ są odpowiedniami ilościami elektryczności, działającymi na siebie. Aby otrzymać całkowite napięcie, musimy przeprowadzić zarówno dF' jak dF po kolei przez wszystkie elementy powierzchni i potem utworzyć sumę wszystkich tych działań pojedynczych; jednak tutaj każda para elementów musiałaby się dwa razy powtórzyć, przeto sumę powyższą jako podwójną należy jeszcze podzielić przez 2. W ten sposób otrzymujemy dla całkowitego elektrycznego napięcia powierzchni konduktora:

$$S = \frac{1}{2} \sum \sum \sigma \cdot dF \cdot \frac{\sigma' \cdot dF'}{r^2} \cos \varphi.$$

Lecz

$$\sum \frac{\sigma' \cdot dF'}{r^2} \cos \varphi = N;$$

zamiast dF mamy tedy

$$S = \frac{1}{2} \sum N \sigma \cdot dF.$$

Napięcie działające na element dF jest tedy

$$dS = \frac{1}{2} N \cdot \sigma \cdot dF.$$

A ponieważ $\sigma = \frac{N}{4\pi}$, możemy natomiast pisać

$$dS = \frac{N^2}{8\pi} \cdot dF = 2\pi \sigma^2 dF.$$

Wtenczas możemy również założyć za N wartość

$N = - \frac{dV}{dn}$, skutkiem czego nareszcie otrzymujemy

$$dS = \frac{1}{8\pi} \left(\frac{dV}{dn} \right)^2 dF.$$

Przykład. Niechaj kula o promieniu $a = 4$ cm została naładowana do potencjału $V = 200 \text{ cm}^{1/2} g^{1/2} \text{ s}^{-1}$.

Wtedy całkowity ładunek

$$Q = Va = 4 \cdot 200 = 800 \text{ cm}^{3/2} g^{1/2} \text{ s}^{-1}.$$

Dalej na powierzchni

$$N = \frac{Q}{a^2} = \frac{800}{16} = 50 \text{ cm}^{-1/2} g^{1/2} \text{ s}^{-1} \text{ oraz}$$

$$\sigma = \frac{N}{4\pi} \approx 4 \text{ cm}^{-1/2} g^{1/2} \text{ s}^{-1}.$$

Następnie

$$S = \frac{1}{2} N \sum \sigma S dF = \frac{1}{2} N \cdot \sigma \cdot 4\pi a^2,$$

a więc

$$S = \frac{1}{2} \cdot 50 \cdot \frac{50}{4} \cdot 4\pi \cdot 16 = 20000 \text{ dyn (cm gs}^{-2}\text{)}.$$

Gdyby tylko promień był $a = 0,4$ cm, tedy

$$Q = 80 \text{ cm}^{3/2} g^{1/2} \text{ s}^{-1},$$

$$N = 500 \text{ cm}^{-1/2} g^{1/2} \text{ s}^{-1},$$

$$\sigma \approx 40 \text{ cm}^{-1/2} g^{1/2} \text{ s}^{-1}$$

i jak wyżej $S = 20000 \text{ dyn (cm gs}^{-2}\text{)}$. Ciśnienie na 1 cm^2

byłoby teraz $\frac{20000}{4\pi a^2} \approx 10000 \text{ dyn na } 1 \text{ cm}^2$ t. j. nieco wię-

cej od 0,01 atmosfery ($1 \text{ kg na } 1 \text{ cm}^2$). Dla kuli o promieniu tylko 0,04 cm napięcie elektryczne powierzchni wynosiłoby już więcej niż 1 atmosferę.

Wyładowanie elektryczne. Jeżeli wartość $\frac{dS}{dF}$, t. j. ciśnienie wywierane przez elektryczność, nagromadzoną na

przewodniku, na jednostkę powierzchni ośrodka izolującego dosięga wartości, przekraczającej granicę *wytrzymałości* elektrycznej tego ośrodka, następuje *wyładowanie*, i ośrodek ulega przebiciu w kierunku linii sił. Stosownie do tego, czy linie sił zbiegają się gęsto w kierunku ilości elektryczności, czy też rozchodzą się szeroko, otrzymujemy albo *wyładowanie raptowne* czyli *przez iskrę* albo *w postaci kiści (wiązki)* czyli *słabo świecące*. Wyładowanie w postaci kiści składa się z bardzo szybko po sobie idących wyładowań mniejszych ilości; przy wyładowaniu słabo świecącym zjawisko jest ciągłe, przy wyładowaniu przez iskrę zachodzi jednorazowe wyładowanie większych ilości elektryczności.

Dla określonego ośrodka izolującego następuje ta lub owa forma wyładowania, skoro tylko wielkość

$$\frac{dS}{dF} = \frac{N^2}{8\pi} = 2\pi \sigma^2 = \frac{1}{8\pi} \left(\frac{dV}{dn} \right)^2$$

przebywa określoną *wartość graniczną*. Najprędzej następuje to w tych miejscach, gdzie gęstość σ ma wartość największą t. j. na ostrzach; ponieważ z nich już przy małych ładunkach przewodnika powstają wyładowania, przeto w ogólności mamy tutaj wyładowanie w rodzaju wiązki lub słabo świecące. Wszelako pojawienie się wyładowania zależy jeszcze od rozmaitych innych okoliczności a mianowicie:

1) od rodzaju elektryczności wyładowanej. W zwykłym powietrzu wartość $\frac{dS}{dF}$ powinna być większa dla ładunku + niż dla —; z tego powodu na przykład induktor do iskier daje najdłuższe iskry, gdy za biegun + dla prą-

du wzbudzonego przy otwieraniu użyjemy ostrza (albo wiązki ostrzy), a za biegun — sporego krążka (porównaj str. 156).

2) Wystawianie na promienie ultrafioletowe wywiera na wyładowania te wpływ wyraźny. (Od tł. Z badań Hertza wielu innych wynika, że jeśli elektrody kulkowe maszyny influencyjnej lub przyrządu indukcyjnego zostaną rozsunięte tak daleko, że iskry pomiędzy nimi przestaną przechodzić, to wyładowanie powtórzy się zaraz, gdy na elektrod odjemny padnie światło obfitujące w promienie ultrafioletowe, o bardzo szybkich drganiach, naprz. światło łukowe lub magnezyowe).

Praca ładowania i energia wyładowywania. Jeżeli do naszej kuli o promieniu a , naładowanej ilością elektryczności $+ Q$, przybliżymy z nieskończenie wielkiej odległości bardzo małą ilość elektryczności dQ , tedy po dawnemu musimy wykonać pracę $\frac{Q}{a} dQ = V dQ$. Przytem ładunek kul rośnie z Q na $Q + dQ$.

Gdy z początku $Q = 0$, potem $= dQ, 2dQ$ i t. d., tedy prace są $\frac{0}{a} dQ, \frac{dQ}{a} \cdot dQ, \frac{2dQ}{a} \cdot dQ$ i t. d., a zatem suma ich czyli praca, jakiej wypada użyć, by kuli nadać ładunek Q :

$$\int_0^Q \frac{Q}{a} dQ = \frac{Q^2}{2a} = \frac{Q}{a} \cdot \frac{Q}{2} = \frac{V \cdot Q}{2}.$$

Pracę tę nazywamy *pracą ładowania*, zaś wyrównyującą jej energię, nagromadzoną na kuli, nazywamy *ener-*

gią ładowania. Możemy przeto sformułować prawo następujące:

Aby naładować konduktor ilością elektryczności Q do potencjału V , wypadła ponieść pracę mechaniczną wielkości

$$\frac{VQ}{2}.$$

Gdy C jest pojemnością konduktora, $V = \frac{Q}{C}$;

$Q = VC$. Mamy więc i dla energii ładowania

$$\frac{VQ}{2} = \frac{Q^2}{2C} = \frac{V^2C}{2}.$$

Ta utajona przy ładowaniu energia *wyzwała się* podczas wyładowywania i pojawia się już w formie działań mechanicznych (uderzenie, trzask, rozrywanie i gruchotanie ciał), już to jako ciepło i światło.

Przykład. By naładować kulę wspomnianą na str. 374, wymagalną jest praca

$$\frac{V^2 \cdot a}{2} = \frac{200 \cdot 200 \cdot 4}{2} = 80000 \text{ erg} = \frac{1}{1226} \text{ kgm.}$$

Pytania do wykładu XXXV.

1. Wypowiedz prawo Coulomb'a? Na podstawie tego prawa objaśnij fakt, że kulka bzowa, która wisi na nici jedwabnej, słabiej jest przyciągana przez naelektryzowaną laskę szklaną lub ebonitową, niżli laska tejże wielkości, która wisi na wilgotnej nici lnianej.

2. Opisz urządzenie wagi skręceń Coulomb'a i powiedz, jak zapomocą niej daje się dowieść prawo Coulomb'a?

3. Jaka jest absolutna elektrostacyjna jednostka ilości elektryczności? Jaki wymiar posiada ta wielkość?

4. Co rozumiemy przez pole elektryczne i elektryczne linie sił?

5. Porównaj pole elektryczne i elektryczne linie sił z polem magnetycznym i magnetycznymi liniami sił. Przedewszystkiem uwydatnij różnice, jakie między nimi zachodzą.

6. Wskaż różnicę między izolatorem a przewodnikiem elektryczności. Który z nich daje się porównywać z zachowaniem ciał wobec magnetyzmu? Dlaczego wyrażenia „opór magnetyczny” i „prąd magnetyczny” uznać należy za niewłaściwe?

7. Opisz dokładnie stan wysiłu, jakiemu podlega pole elektryczne i daj wyjaśnienie indukcji lub wpływu elektrostatycznego.

8. Jaką wartość posiada natężenie pola elektrycznego w pewnej określonej odległości od kulki, naładowanej określoną ilością elektryczności.

9. Jak pojmujemy „potencjał elektrostatyczny” w danej miejscowości, w pobliżu ciał elektrycznie naładowanych?

10. Jaki związek istnieje między natężeniem pola a potencjałem? Jakie wymiary posiadają natężenie pola i potencjał w absolutnym elektrostatycznym układzie miar?

11. Jakie własności posiadają t. zw. powierzchnie poziomu?

12. Jak się powinien rozłożyć potencjał we wszelkich punktach wewnętrznych przewodnika, jeśli elektryczność na tym przewodniku ma się znajdować w stanie równowagi?

13. Na podstawie pojęcia o potencyale opisz stan przewodnika podczas indukcji elektrostatycznej.

14. Jaki warunek powinien być wypełniony, jeżeli przez przewodnik przebiegać ma ciągły prąd elektryczny?

15. Wskaż związek pomiędzy potencjałem, ładunkiem, a pojemnością elektrostatyczną przewodnika. Jaki wymiar ma ta ostatnia wielkość?

16. Jaki stosunek zachodzi pomiędzy natężeniem pola, potencjałem a gęstością powierzchni?

17. Objaśnij Faraday'owskie doświadczenie (fig. 304 i 18) na podstawie jego poglądów.

18. Jakie znaczenie ma stała dielektryczna i z jaką wielkością w magnetyzmie da się porównać?

19. Jaką wielkość ma „napięcie elektryczne powierzchni”? W jakim stosunku wielkość ta pozostaje do wyładowania elektrycznego?

20. Jak wielką ma być praca potrzebna do naładowania danego konduktora aż do danego potencjału? W jaką formę energii przekształca się ta praca przy ładowaniu.

21. W jakich postaciach występuje energia elektryczna naładowanego konduktora przy wyładowywaniu?

WYKŁAD XXXVI.

Treść: Teorya kondensatorów. — Oznaczenie stałej dielektrycznej. — Porównanie absolutnej elektrostatycznej z elektromagnetyczną jednostką ilości elektryczności. — Absolutny elektrostatyczny i elektromagnetyczny układ miar. — Absolutny elektrometr krążkowy Sir W. Thomson'a. — Pytania.

Wyłożone w ciągu poprzedniego wykładu powszechne prawa elektrostatyki zastosujemy teraz do kilku ważniejszych przyrządów i narzędzi mierniczych a m. do *kondensatorów i elektrometrów*.

Teorya kondensatorów. Skoro poznaliśmy już w ogólności na jednym z poprzednich wykładów zachowanie się i urządzenie kondensatorów, przystąpić zamierzamy obecnie do nieco szczegółowszego matematycznego ich rozważenia.

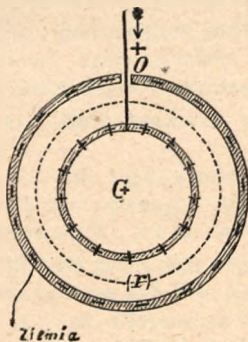


Fig. 341.

1. **Kondensator o kuli pustej.** Kulka metalowa o promieniu (zewnętrznym) a otoczona jest większą kulą metalową, pustą o promieniu (wewnętrznym) a_1 ; obie powierzchnie kuliste są współśrodkowymi względem siebie

o wspólnym punkcie środkowym C (patrz fig. 341). Zewnętrzna pusta kula posiada w O mały otwór, przez który

swobodnie przechodzi drut, służący do nadania kuli wewnętrznej ładunku Q . Niechaj ośrodek izolujący pomiędzy dwiema powierzchniami kuli posiada stałą dielektryczną D . Potencjały wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni kulistej niechaj będą V i V_1 ; powierzchnie poziomu również są kulistymi współśrodkowymi; niechaj potencjał którejkolwiek z nich (zaznaczonej linią kropkowaną) o promieniu r będzie V . Dalej niechaj N będzie natężeniem pola elektrycznego na tej powierzchni kulistej, wobec czego podług str. 364 $N = -\frac{dV}{dr}$ na całej tej powierzchni kulistej posiada wartość stałą. Wówczas dla tej powierzchni istnieje stosunek ogólny, ustalony na str. 371

$$Q = \frac{D}{4\pi} \sum N dF = \frac{D}{4\pi} N \sum dF,$$

ponieważ N dla wszystkich punktów powierzchni posiada tę samą wartość. Lecz teraz $\sum dF = 4\pi r^2$. Ztąd wynika ostatecznie

$$Q = D N r^2 = -D \frac{dV}{dr} r^2.$$

Przestawiając, otrzymujemy:

$$dV = -\frac{Q}{D} \cdot \frac{dr}{r^2}.$$

Na mocy prawideł rachunku całkowego mamy teraz

$$V - V_1 = -\int_{a_1}^a \frac{Q}{D} \cdot \frac{dr}{r^2} = -\frac{Q}{D} \left[-\frac{1}{r} \right]_{a_1}^a = \frac{Q}{D} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{a_1} \right).$$

Mamy tedy ostatecznie

$$Q = D \frac{a_1 \cdot a}{a_1 - a} (V - V_1).$$

Używając powyższego przyrządu jako kondensatora, łączymy zewnętrzną powłokę kulistą, uważaną jako „zbroję”, z ziemią czyli czynimy $V_1 = 0$. W takim razie

$$Q = D \frac{a_1 a}{a_1 - a} V.$$

Lecz podług str. 295

$$C = D \frac{a_1 a}{a_1 - a}$$

jest *pojemność* kondensatora.

2. **Konduktor walcowy.** Bardzo długi walec metalowy o promieniu (zewnętrznym) a otoczony jest większym, również bardzo długim walcem metalowym o promieniu (wewnętrznym) a_1 , tak że osi obu walców zlewają się (patrz fig. 342). Pomyślmy sobie, że wewnętrzny walec znowu został naładowany elektrycznością $+$; potencjał jego niechaj będzie V , potencjał zewnętrznego cylindra V_1 . Powierzchnie poziomą są koncentrycznymi powierzchniami walców; jedna z nich (zaznaczona na figurze kropkami) posiada promień r , zaś potencjał na niej równa się V . Pomyślmy sobie, że ze środka bardzo długich powierzchni cylindrycznych wykrojono w sposób uwidoczony na figurze krótkie kawałki długości L , których końce w stosunku do promieni leżą bardzo daleko od zewnętrznych końców walców. Wtedy na całej, kropkowanej powierzchni walca N jest stałe i , odpowiednio, jeśli D jest stałą dielektryczną ośrodka dzielącego, jak przedtem

$$Q = \frac{D}{4\pi} N \sum dF.$$

Lecz teraz $\Sigma dF = 2\pi rL$; gdy wstawimy to wyżej i oprócz tego założymy $N = -\frac{dV}{dr}$, wypadnie

$$Q = -\frac{D}{2} L \frac{dV}{dr} r,$$

skąd wypływa

$$dV = -\frac{2Q}{DL} \cdot \frac{dr}{r}.$$

Według tego

$$V - V_1 = -\int_{a_1}^a \frac{2Q}{DL} \cdot \frac{dr}{r} = -\frac{2Q}{DL} \left[\log r \right]_{a_1}^a = \frac{2Q}{DL} (\log a_1 - \log a)$$

i wreszcie

$$V - V_1 = \frac{2Q}{DL} \log \frac{a_1}{a}.$$

Jest to t. zw. *logarytm naturalny* odniesiony do podstawy $e = 2,7183$; aby go otrzymać ze zwykłego logarytmu czyli Brigg'a (odniesionego do podstawy 10), należy ten ostatni mnożyć przez 2,3026.

Gdy znowuż połączymy walec zewnętrzny z ziemią, tedy $V_1 = 0$; wtedy znajdziemy

$$Q = \frac{DL}{2 \log \frac{a_1}{a}} V.$$

Według tego pojemność kondensatora, złożonego z dwu kawałków długości L , wykrojonych ze środka bardzo długich współosiowych walców [zamiast tego można poprostu wykroić z *wewnętrznego* walca kawałek i oddzielić go od pozostałych części szczeliną, wypełnioną jakim

ośrodkiem izolującym, lecz zawsze utrzymywać go na jednakowym potencyale].

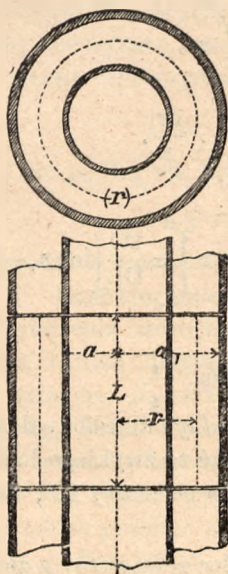


Fig. 342.

$$C = \frac{DL}{2 \log \frac{a_1}{a}}$$

3. *Kondensator krążkowy.* Dwa bardzo duże i płaskie kręgi metalowe przymocowane są równolegle do siebie i oddzielone warstwą pewnego izolatora o stałej dielektrycznej D i grubości d (fig. 342.) Górny krąg doprowadzono do potencjału V , dolny do potencjału V_1 .

Powierzchnie poziomu w środku między kręgami są teraz płaszczyznami równoległymi do kręgów, przytem D na każdej z nich jest stałą. Pomyślmy, że w górnym kręgu wykrojono mały kawałek

wielkości F , którego brzegi położone są w bardzo znacznej,

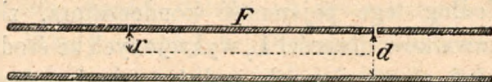


Fig. 343.

w porównaniu z d , odległości od brzegów kręgów zewnątrz-

nych. Wtedy znowu dla płaskiego konturu (kropkowanego) w odległości r od górnego kręgu

$$Q = \frac{D}{4\pi} N \sum dF.$$

Lecz teraz poprostu $\sum dF = F$; jeżeli więc wstawimy tę wielkość i równocześnie założymy $N = -\frac{dV}{dr}$, otrzymamy:

$$Q = \frac{DF}{4\pi} \cdot \frac{dV}{dr}.$$

Zkąd wypływa

$$dV = -\frac{4\pi}{DF} Q dr.$$

Według tego

$$V - V_1 = - \int_d^0 \frac{4\pi Q}{DF} dr = - \frac{4\pi Q}{DF} \left[r \right]_d^0 = \frac{4\pi Q}{DFd}.$$

Jeżeli przez połączenie dolnego kręgu z ziemią ponownie uczynimy $V_1 = 0$, tedy

$$Q = \frac{DF}{4\pi d} V.$$

Zewnętrzną, obrączkową część kręgu górnego oddzieloną od wewnętrznego kręgu F wąską szczeliną i posiadającą ten sam potencjał co F , za Sir W. Thomsonem nazywamy *piersścieniem ochronnym*. Daje on tę ważną korzyść, że czyni nas niezależnymi od wielce złożonego rozmieszczenia elektryczności na zewnętrznych brzegach kręgów*).

*) Dokładną teorię kondensatora krążkowego podał Kirchhoff.

Podług wzoru powyższego pojemność kondensatora Thomson'owskiego o pierścieniu ochronnym

$$C = \frac{DF}{4\pi d}.$$

Oznaczenie stałej dielektrycznej. Jak to już nadmieniliśmy na str. 334, pojemność indukcyjną właściwą albo stałą dielektryczną powietrza (lub przestrzeni bezpowietrznej) uważamy $D=1$, postępujemy więc podobnie jak swego czasu w magnetyzmie (str. 151 t. I), gdzie magnetyczną przenikalność powietrza również przyjęliśmy za $\mu = 1$.

Kondensator jest dogodnym środkiem oznaczania stałej dielektrycznej jakiegokolwiek izolatora. Jako środka izolującego używamy najpierw powietrza, ładujemy kondensator do określonego potencjału V i wyładowujemy go wtedy przez *galwanometr balistyczny* (patrz str. 103). W ten sposób znajdujemy ładunek $Q_1 = C_1 V$. Wówczas zastępujemy powietrze określonym izolatorem, ładujemy znów do potencjału V ale przez galwanometr. Daje nam to wartość $Q = CV$. W takim razie

$$D = \frac{C}{C_1} = \frac{Q}{Q_1}.$$

Najlepiej do tego celu nadaje się kondensator krążkowy. Przy tego rodzaju oznaczeniach nastręczyć się mogą trudności skutkiem wadliwej izolacji dielektryka i tworzenia się ładunku pozostałego. Zrozumiałem jest wobec tego, dlaczego rozmaici badacze dochodzili do wielce rozmaitych wartości. Nadto D dla rozmaitych ciał naprz. dla szkła zależy od *czasu ładowania*. W następującej ta-

belce zestawione zostały stałe dielektryczne niektórych ciał*).

	D =
Ebonit	2,3 — 3,1
parafina	2 — 2,3
siarka	2,6 — 3,8
kolofonium	2,5
szkło	3 — 10
szellak	2,7
nafta	2
próżnia (powietrze)	1,0

Porównanie absolutnej elektrostatycznej i elektromagnetycznej jednostki elektryczności. Natężenie prądu określiliśmy jako tę ilość elektryczności, która przechodzi na 1 sekundę przez przekrój przewodnika (str. 101). Otrzymujemy tedy całkowitą ilość elektryczności, jeżeli natężenie prądu pomnożymy przez liczbę sekund, w ciągu których prąd przepływał.

Zmierzyliśmy dawniej natężenie prądu *w absolutnych jednostkach elektromagnetycznych* (str. 303) i znaleźliśmy wymiar tej jednostki $\text{cm}^{1/2} \text{g}^{1/2} \text{s}^{-1}$. Skoro ją pomnożymy przez czas czyli przez S, otrzymamy

Wymiar absolutnej elektromagnetycznej jednostki ilości elektryczności $\text{cm}^{1/2} \text{g}^{1/2}$.

*) Ciekawy stosunek znalazł Maxwell między stałą dielektryczną ciała a jego optycznym współczynnikiem załamania n , mianowicie $D = n^2$. Dla wielu ciał stosunek ten został stwierdzony doświadczalnie. (Przyp. tł.).

Za to na str. 356 znaleźliśmy

Wymiar absolutnej elektrostatycznej jednostki ilości elektryczności $\text{cm}^{3/2} \text{g}^{1/2} \text{s}^{-1}$.

A zatem obie jednostki różnią się przede wszystkim *wymiarami*.

Wymiar jednostki elektrostatycznej
Wymiar jednostki elektromagnetycznej $= \text{cm s}^{-1}$,

czyli iloraz obu wymiarów posiada wymiar *prędkości*.

Lecz obie te jednostki różnią się i pod względem *wartości liczebnej*, jaką przedstawiają. Gdy bowiem zbudujemy kondensator (należący do jednego z trzech wyżej dokładnie opisanych rodzajów) i obliczymy jego pojemność elektrostatyczną ($= C$), a potem go naładujemy do pewnego potencjału, którego wielkość również określiliśmy w absolutnej mierze elektrostatycznej $= V$ podług sposobu, o którym później będzie mowa, tedy ilość elektryczności w nim nagromadzona wyraża się *w absolutnej mierze elektrostatycznej*

$$Q = CV.$$

Gdy następnie wyładujemy tę ilość elektryczności przez galwanometr balistyczny o wiadomym współczynniku zamiany (*w absolutnej mierze elektromagnetycznej*), tedy znajdziemy wartość tejże ilości elektryczności *w absolutnej mierze elektromagnetycznej* (str. 105); wartość ta niechaj będzie Q' . Znajdujemy więc stosunek liczb dla jednej samej wielkości w obu układach miar $= \frac{Q}{Q'}$. W ten spo-

sób znaleźliśmy wartość tego stosunku $3,015 \cdot 10^{10}$ *) to jest

1 absolutna elektromagnetyczna jednostka ilości elektryczności równowartą jest $3,015 \cdot 10^{10}$ absolutnym jednostkom elektrostatycznym.

Absolutny elektrostatyczny i elektromagnetyczny układ miar. Że teraz nie otrzymaliśmy tych samych jednostek co poprzednio, nie powinniśmy się dziwić; bo dawniej za punkt wyjścia służyło nam działanie sił pomiędzy *masami magnetycznymi w spoczynku*, tymczasem obecnie za podstawę obraliśmy działanie siły pomiędzy *masami elektrycznymi w stanie spokoju*. Obie związane ze sobą zostały najpierw przez prawo Biot-Savart'a, które opiewa, iż elektryczność, poruszająca się w przewodniku, wytwarza w otoczeniu przewodnika magnetyzm w stanie spoczynku, a potem przez prawo Faraday'a o indukeyi, według którego magnetyzm wprawiony w ruch, wywołuje w przewodnikach sąsiednich, o ile nie są *zamknięte*, elektryczność w stanie spoczynku czyli statyczną.

W ten sposób dodaliśmy do rozważanego na poprzednim wykładzie *absolutnego elektromagnetycznego układu miar absolutny elektrostatyczny układ miar*. Świeżo porównywaliśmy ze sobą wielkość jednostek ilości elektrycz-

*) Jest to wartość przeciętna, obliczona ze spostrzeżeń, które opisał Klemenčič w „Doniesieniach Wiedeńskich“ (Wiener Berichte) t. 83. 1886 r., str. 470. Liczba ta zgadza się z wartością liczebną prędkości światła w przestrzeni bezpowietrznej, jeżeli ją zmierzmy w cm s^{-1} . Niedawno Pellat znalazł, że stosunek $\text{ten} = 3,0092 \cdot 10^{10}$.

ności w obu układach. Porównanie to obecnie przeprowadzimy i dla pozostałych wielkości.

Natężenie prądu.

Układ elektromagnetyczny $\text{cm}^{1/2} \text{g}^{1/2} \text{s}^{-1}$

„ elektrostatyczny $\text{cm}^{3/8} \text{g}^{1/2} \text{s}^{-2}$.

Wymiar jednostki elektrostatycznej

Wymiar jednostki elektromagnetycznej $= \text{cm s}^{-1}$.

1 jednostka elektromagnetyczna równowarta jest

$3,015 \cdot 10^{10}$ jedn. elektrostatycznym

1 amper $= 0,1$ jedn. elektromagnetycznej równowarty jest

$3,015 \cdot 10^9$ jedn. elektrostatycznym.

Ilość elektryczności, która przy 1 a przebiega w ciągu każdej sekundy przez każdy przekrój przewodnika, nazywa się

1 coulomb $= 1$ ch.

Wedge tego

1 coulomb $= 0,1$ elektromagn. jedn. ilości elektryczności co wyrównywa $3,015 \cdot 10^9$ elektrost. jedn. ilości elektryczności.

Potencjał, różnica potencjału (napięcie, różnica napięcia).

Układ elektromagn. $\text{cm}^{3/2} \text{g}^{1/2} \text{s}^{-2}$

Układ elektrostat. $\text{cm}^{1/2} \text{g}^{1/2} \text{s}^{-1}$.

Wymiar jednostki elektrostat.

Wymiar jednostki elektromagn. $= \text{cm}^{-1} \text{s}$.

W obu układach

jednostka prądu $\times$ jednostka potencjału $=$ jednostka dzielnosci (erg na sekundę).

A zatem

Układ elektromagnetyczny

$$1 \text{ cm}^{1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1} \times 1 \text{ cm}^{3/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-2} = 1 \text{ cm}^2 \text{ g s}^{-3}$$

Układ elektrostatyczny

$$1 \text{ cm}^{1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-2} \times 1 \text{ cm}^{1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1} = 1 \text{ cm}^2 \text{ g s}^{-3}.$$

Z tego powodu elektrostatyczna jednostka potencjału musi być $3,015 \cdot 10^{10}$ razy większa od elektromagnetycznej, czyli

$$1 \text{ jedn. elektromagn. równowarta } \frac{1}{3,015 \cdot 10^{10}} \text{ jednostkom elektrostatycznym}$$

$$1 \text{ volt} = 10^9 \text{ jedn. elektrom. równowarty } \frac{1}{301,5} \text{ jednost. elektrostatycznym.}$$

Pojemność. Pojemność w obu układach jest ilorazem: *ilości elektryczności na przewodniku podzielonej przez potencjał przewodnika.* Według tego jest ona dla układu elektromagnetycznego $\text{cm}^{-1} \text{ s}^2$, tymczasem

w układzie elektrostatycznym cm.

Ztąd wynika

$$\frac{\text{Wymiar jednostki elektrostatycznej}}{\text{Wymiar jednostki elektromagnetycznej}} = \text{cm}^2 \text{ s}^{-2}.$$

Następnie

$$\begin{aligned} \text{Jednostka elektromagnetyczna pojemności} &= \\ &= \frac{\text{Jedn. elektrom. ilości elektryczności}}{\text{Jedn. elektrostatyczn. potencjału}} \end{aligned}$$

jest równowarta

$$\frac{3,015 \cdot 10^{10} \text{ elektrostat. jedn. ilości elektryczności}}{1} \\ 3,015 \cdot 10^{10} \text{ elektrostatycz. jednostki potencjału}$$

A zatem

1 *jedn. elektromagn. pojemności* jest równowarta
(3,015 · 10¹⁰)² *jedn. elektrostat.*

albo

1 *jedn. elektromagn. pojemności* jest równowarta
9,090 · 10²⁰ *jedn. elektrostat.*

Gdy przewodnik naładowany jest przez 1 coulomb do potencjału 1 volta, tedy posiada on pojemność 1 farad = 1 f. Tym sposobem

$$1 \text{ farad} = \frac{1 \text{ cb}}{1 \text{ v}} \text{ jest równowarty} \\ \frac{3,015 \cdot 10^9 \text{ elektrostat. jedn. ilości elektryczności}}{1} \\ 3,015 \cdot 10^9 \text{ elektrostat. jedn. potencjału}$$

albo też:

1 farad równowarty jest 9,090 · 10¹¹ *jedn. elektrostat.*

Ponieważ farad jest nadzwyczaj dużą jednostką, w praktyce wolą używać milionowej części tegoż, którą nazywają 1 mikrofaradem = 1 mf. Przeto

1 mikrofarad jest równowarty 9,090 · 10⁵ *jedn. elektrostat.*

Mikrofarad też jest bardzo dużą jednostką pojemności, wobec tego kondensatory zwykle używane posiadają pojemności odpowiadające zaledwie ułamkom tej jednostki. Nawet pojemność kuli ziemskiej, której wielkość w mierze elektrostatycznej wyraża się przez 6,367 · 10⁹ cm,

wynosi tylko $\frac{6,367 \cdot 10^9}{9,090 \cdot 10^5} \approx 700$ mikrof. Pojemność podmorskiej liny telegraficznej wynosi średnio 0,17 mf. na każdy kilometr długości.

Absolutny elektrometr krążkowy Sir W. Thomson'a. Przyrząd ten przeznaczony do mierzenia potencjałów i różnic potencjałów w absolutnej mierze elektrostatycznej składa się z kondensatora o pierścieniu ochronnym w rodzaju załączonego na fig. 343, w którym blacha oznaczona przez F ma ruch swobodny i łączy się zapomocą sprężyny z pierścieniem ochronnym, podczas gdy dobrze izolowana dolna blacha daje się podnosić i obniżać o wartości ściśle wymierne zapomocą śruby mikrometrycznej. Sprężyny dążą do podniesienia F, wobec czego musimy nałożyć ciężar P, by F obniżyć o tyle, ażeby jego dolna powierzchnia wraz z powierzchnią pierścienia ochronnego mieściły się dokładnie w jednej płaszczyźnie poziomej. Jeżeli teraz zechcemy zmierzyć potencjał izolowanej zbioru kondensatora, naładowanej *dodatnio*, tedy łączymy najpierw dolny krąg z ziemią, usuwamy z F ciężar P i ładujemy górny krąg (t. j. F i pierścień ochronny) do stałego potencjału — V przez połączenie z okładką wewnętrzną dużej, odjemnie naładowanej butelki lejdejskiej lub z biegunem baterji woltaicznej złożonej z wielu ogniw, której biegun + odprowadzony jest do ziemi. Potem przez kręcenie śruby mikrometrycznej ustawiamy krąg dolny w takiej odległości d od górnego, że strona dolna F znowu znajduje się w jednej płaszczyźnie ze stroną dolną pierścienia ochronnego. Wówczas przyciąganie elektryczne pomiędzy F a kręgiem dolnym ściśle posiada wartość P.

Jeżeli w ogólności różnica potencjału między kręgiem górnym a dolnym jest $V - V_1$ tedy według str. 385 na F znajduje się ładunek

$$Q = \frac{F}{4\pi d} (V - V_1).$$

Ponieważ jest on jednostajnie rozmieszczony na F , przeto gęstość powierzchniowa na F wypadła

$$\sigma = \frac{Q}{F} = \frac{1}{4\pi d} (V - V_1)$$

Podług str. 373 pomiędzy F a kręgiem dolnym zachodzi *sila przyciągająca* wielkości

$$S = 2\pi\sigma^2 F = 2\pi \frac{1}{16\pi^2 d^2} (V - V_1)^2 \cdot F = \frac{1}{8\pi d^2} (V - V_1)^2 \cdot F.$$

Ponieważ F zawsze jest kręgiem, przeto $F = \pi r^2$, jeżeli przez r oznaczymy *promień* tego kręgu. Wtenczas

$$S = \frac{1}{8} \cdot \frac{r^2}{d^2} (V - V_1)^2.$$

W naszym wypadku mamy $V_1 = 0$; tym sposobem różnica potencjału, bez względu na znak poprzedzający, $= V$; a dalej $S = P^*$).

*) Powinno być wyrażone w dynach [cmgs^{-2}]. Gdy P składa się z mosiądzu o masie M (gr), przyspieszenie zaś ciężkości w danym miejscu jest g (cms^{-2}), tedy $P = Mg$ (cmgs^{-2}). Ztąd odjąć jeszcze należy stratę wagi, jakiej M doznaje w powietrzu. Można przyjąć, iż masa mosiądzu średnio jest 6800 razy większa od równowartej objętości powietrza; wypychanie więc wynosi $\frac{P}{6800}$, wartość zaś prawdziwa $P = \frac{6799}{6800} Mg$. Wyni-

ka ztąd $\sqrt{P} = \sqrt{\frac{6799}{6800} Mg} = 0,99997 \sqrt{Mg}$. Zresztą ponie-

Wedle tego mamy równanie

$$P = \frac{1}{8} \left(\frac{r}{d} \right)^2 V^2$$

albo

$$V = \frac{\sqrt{8P}}{r} d.$$

Łączymy teraz krąg dolny z dodatnią okładką kondensatora, której potencyał niechaj będzie V_1 . Chcąc teraz F nanowo doprowadzić do położenia normalnego, należy odległość powiększyć do wartości d_1 , gdyż różnica potencyału (bez względu na znak) jest teraz $= (V + V_1)$.

Wtenczas

$$V + V_1 = \frac{\sqrt{8P}}{r} d_1.$$

Przez odejmowanie otrzymujemy ztąd

$$V_1 = \frac{\sqrt{8P}}{r} (d_1 - d) \text{ cm}^{1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}.$$

Elektrometry do mierzenia bardzo małych różnic potencyału. Z powodu niewielkiej czulości elektrometr absolutny nadaje się tylko do mierzenia dużych wartości potencyału i różnic potencyałów. Do mierzenia, dajmy na to, różnicy potencyału między biegunami pojedynczego ogniwa voltaicznego potrzebne są przyrządy znacznie czulsze; ważniejsze z nich postaramy się tu opisać.

waż ścisłość postrzeżeń nie dochodzi wartości $\frac{1}{10000}$, tedy stratę wagi w powietrzu możemy pominąć i bez błędu przyjąć $P = Mg$. Patrz dodatek I do t. I.

1. *Elektrometr Hankel'a*. W r. 1806 Behrens opisał bardzo czuły elektroskop, który (po wprowadzeniu później pewnych ulepszeń przez Bohnenberger'a i Fechner'a) przyjął formę następującą. Do zaostrzonego dolnego końca sztaby mosiężnej przymocowany jest dobrze izolowany ebonitem lub szellakiem (fig. 344) listek złoty, który wisi

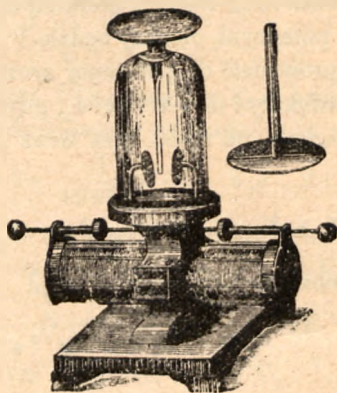


Fig. 344. Elektroskop Behrens'a.

w kloszu szklanym pomiędzy dwoma kręgami mosiężnymi, z których jeden stale posiada ładunek $+$, drugi $-$ o jednakowym napięciu. Ładowanie ich odbywa się przez połączenie z końcem t. zw. suchego stosu (Behrens'a lub Zamboni'ego). Ten ostatni składa się z pewnej liczby (1000—2000) kwadratowych lub okrągłych warstw. t. zw. złotego lub srebrnego papieru, przyklejonych do siebie i do papieru klajstrem i następujących po sobie w ten sposób, że złota strona pary poprzedzającej zawsze przytyka

do strony srebrnej pary następnej. Wtenczas strona srebrna (cynowa) pierwszego krążka tworzy biegun —, strona złota (miedziana) ostatniego biegun + stosu; warstwę cieczy stanowi tu hygroskopijna masa, którą przegradza papier i kłajster (patrz stos Volty, strona 7 t. t.). Stos podzielony jest na dwie połowy, z których każda umieszczona jest w dobrze izolującej rurze szklanej. Rury te z jednej strony osadzone są w słabym trzonie z drzewa, tak, że się w środku stykają, od środka zaś stosu idzie drut łączący z ziemią. Przeciwnie końce rurek zamknięte są czapkami mosiężnymi, na brzegu których zrobione są otwory, a w tych przesuwają się drażki mosiężne zakończone płytkami biegunów. Na środkowym trzonie z drzewa stoi wspomniany już kłosz szklany ze złotymi listkami. Dopóki ten ostatni jest nienaelektryzowany, przeciągany jest jednakowo mocno przez obie płytki, pozostaje więc w środku, tymczasem niewielki ładunek + wywołuje już ruch ku kręgowi —, ładunek zaś — ruch ku kręgowi +, aż pomiędzy ciężkością a siłami elektrycznymi zapanuje nanowo równowaga.

Hankel r. 1850 zamienił przyrząd ten w nader czuły elektrometr przez to, że najpierw niepewny pod względem działania, suchy stos zastąpił przez niezawodzące ogniwa voltaiczne (miedź i cynk w małych kubkach z czystą wodą), które w liczbie kilkuset sprzężone są w jedną baterię mieszczącą się na izolowanym podkładzie ze smoły. Następnie korzystał on tylko z bardzo małych wychyleń listka złotego i dlatego obserwował koniec listka zapomocą lupy powiększającej 40 do 50 razy i opatrzonej w mikrometr, co pozwalało na mierzenie wychyleń. Gdy odstęp

między płytami p jest stosunkowo duży wobec wychyleń, te ostatnie *proporcjonalne są do potencjału listka złotego*, który daje się mierzyć, na przykład w voltach, jeżeli znamy w voltach wartość jednej podziałki skali mikrometru umieszczonego w okularze *).

2. *Elektrometr kwadransowy*. Fig. 345 daje nam pojęcie o tym przyrządzie zbudowanym przez Sir. W. Thomsona [górną część została nieco skrócona]. Główne części przyrządu przedstawia rzut aksonometryczny fig. 346, oraz fig. 347 w planie A i w profilu B). Płaskie pudełko kształtu walca z polerowanego mosiądzu podzielone jest na ćwiartki (kwadranse), z których każda przytwierdzona jest do oddzielnego słupka mosiężnego f, g, h, i (fig. 346). Te słupki mosiężne przytwierdzone są do mocnej tarczy mosiężnej dobrze izolowanej przy pomocy ebonitu, tworzącej przykrywkę dolnej części przyrządu, będącej naczyniem walcowatym z flintglasu dobrze odosobniającego. Słupki mosiężne f, g ponad pokrywką mają końcówki c; oprócz tego diametralnie przeciwległe pary f, i oraz y, h połączone są drutami przewodzącymi. W wewnętrznej

*) Taki elektrometr daje się *zmianować* w ten sposób, że bierzemy większe stałe ogniwo, które łączymy z galwanometrem o wiadomym znacznym oporze (galwanometr napięć) i obliczamy z natężenia prądu i oporu napięcie końcówek (str. 132), jednocześnie zaś łączymy jedną końcówkę z ziemią, drugą z elektrometrem. Można też *kalibrować* elektrometr, łącząc go po kolei z jednym biegunem baterji wołtaicznej złożonej z 1, 2, 3 . . . jednakowych ogniw, czyli tym sposobem znaleźć stosunek wychyleń elektrometru przy rozmaitej jego wielkości do potencjału listka złotego.

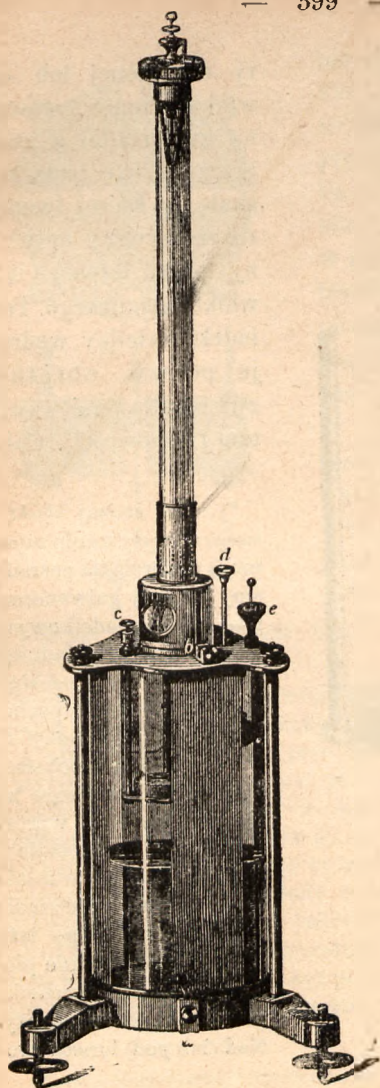


Fig. 345.

pustej przestrzeni ćwiartek buja cienka igła glinowa kształtu biskoptu Ω , z tej racyi zwana niekiedy biskoptem—, która w sposób widoczny z fig. 347 przymocowana jest do dobrze izolującego słupka flintglasowego. Od igły tej na dół idzie drucik platynowy, z przylutowaną u dołu prostokątną blachą platynową. U góry słupek flintglasowy przyczepiony jest do pręcika glinowego, a do niego ruchome zwierciadło k. To ostatnie mieści się we wnętrzu czworobocznego zwierciadlanego domku, posiadającego z jednej strony soczewkę wypukłą; strona przyległa zamknięta jest taflą szklaną; dwie inne strony są mosiężne. Przez soczewkę przechodzi światło od szpa-

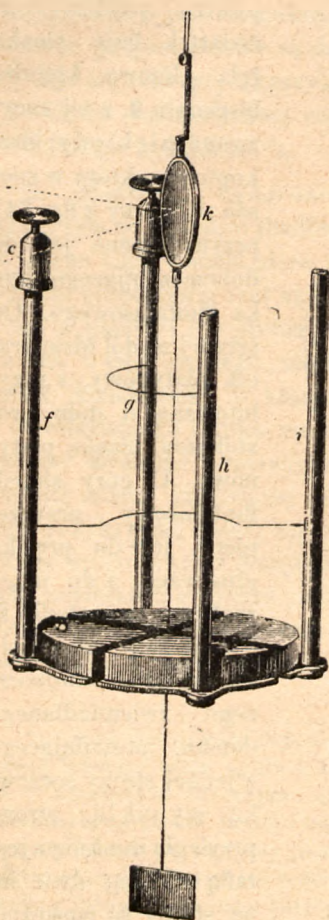


Fig. 346.

ry oświeconej lub od włókna lampy żarowej na zwierciadło a ztąd przez szybkę pada na skalę, na której tworzy się rzeczywisty optyczny obraz szpary lub włókna węglowego. Ten indeks świetlny wędruje podczas obrotów zwierciadła na skali tam i napowrót*). Cały

*) Ten rodzaj *objektywnego* odczytywania zapomocą zwierciadła poznaliśmy już przy galwanometrze zwierciadłkowym Thomson'a. Dokładniejsze od niego jest *subiektywne* odczytywanie (pochodzące od *Poggendorff'a*). Według sposobu schematycznie zaznaczonego na fig. 347 stajemy wprost ruchomego zwierciadła S z lunetą tak, że w stanie spoczynku zwierciadła normalna do niego leży w owej płaszczyźnie pionowej, która przechodzi przez oś optyczną lunety. Nad (lub pod) lunetą pro-

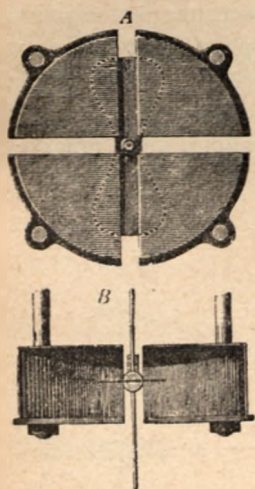


Fig. 347.

ten układ wisi na podwójnej nici kokonowej, umieszczonej w rurze szklanej i u góry przytwierdzony jest do guzika skręcającego; ten ostatni obraca się w ten sposób, iż w stanie zupełnie nienaelektryzowanym igła zajmuje stanowisko ściśle symetryczne względem obu par kwadransów (patrz fig. 347).

Kwadranse znajdują się wewnątrz wspomnianego już cylindrycznego naczynia z flintglasu, napełnionego do określonej wysokości stężonym kwasem siarczanym,

w którym zanurzona jest blacha platynowa, połączona

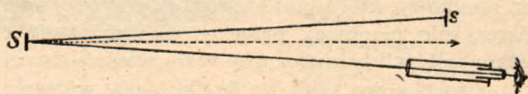
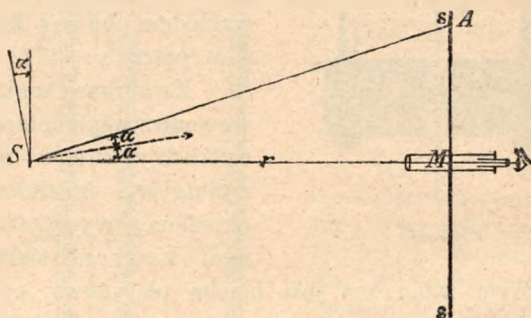
stopadłe do osi optycznej tejże umieszczona jest skala ss podzielona na milimetry, której punkt środkowy M przypada również w płaszczyźnie pionowej, przechodzącej przez oś optyczną. Wszystko jest tak ustawione, że w tej właśnie chwili postrzegamy punkt środkowy skali w środku pola widzenia lunety, oznaczonym przez nici skrzyżowane. Skoro zwierciadło S obróci się o kąt α , tedy normalna do zwierciadła obróci się o tenże kąt i przecięcie nici teraz przypada w punkcie A skali, położonym z boku o n mm. Wtenczas, jeśli r wyraża odległość MS środka skali od środka zwierciadła (wyrażoną w podziałkach skali), to na podstawie prawa optyki, iż kąt pomiędzy płaszczyzną pionową idącą przez r a tą, która przechodzi przez AS, równa się 2α , tang

$$2\alpha = \frac{n}{r}.$$

z igłą F. Kwas siarczany przeznaczony jest najpierw do wybornego hamowania wahnięć, powtórę utrzymuje w suchości powietrze wewnętrzne, potrzebie nadaje igle stały ładunek (+ lub —). Naczynie bowiem flintglasowe od zewnątrz poczęści jest okryte cynfolią, która przez a (fig.

Fig. 348.

P l a n



E l e w a c y a

345) łączy się z ziemią. Powłoka owa tworzy zewnętrzną zbroję butelki lejdejskiej, której okładkę wewnętrzną stanowi kwas siarczany. Ten ostatni ładuje się przez drut e, poczem tygodniami całemi zachowuje swój ładunek prawie bez zmiany; d jestto t. zw. napełniacz (Replenisher),

mała maszynka influencyjna, przez obracanie której można ładunek wedle potrzeby wzmacniać lub osłabiać (przez kręcenie odwrotne).

Skoro obie pary kwadransów posiadają *ten sam* potencjał (przy połączeniu obu śrubek krańcowych c ze sobą przewodnikiem), tedy igła pomimo swojego ładunku zachowuje swoje położenie symetryczne (skoro przyrząd jest dobrze ustawiony). Gdy jednak parom kwadransów, na ten przykład przez połączenie obu końcówek c z biegunami ogniwa voltaicznego, nadamy rozmaity potencjał, tedy igła zrobi większy obrót we wnętrzu tej pary kwadransów, której potencjał od jej własnego *mocniej się różni*. *Przy małych obrotach ruch indeksu świetlnego jest proporcjonalny do różnicy potencjału obu par kwadransów**.

Zresztą kwas siarczany zapomocą c można połączyć *na stałe* przewodnikiem z biegunem baterji voltaicznej złożonej z wielu małych ogniw, opisanych przez nas przy elektrometrze Hankel'a, której drugi biegun łączymy z ziemią, i w ten sposób osiągnąć możemy jeszcze większą stałość potencjału igły.

Pytania do wykładu XXXVI.

1. Jakie trzy rodzaje kondensatorów szczególnie się nadają do pomiarów, w których pojemność kondensatora winna być obliczona drogą rachuby?

2. Aby porównywać ze sobą pojemności dwóch butelek lejdejskich (albo pojemność jakiegokolwiek kondensatora z wia-

*) O sprawdzeniu i miarowaniu takiego przyrządu czytaj uwagę na str. 398.

domą pojemnością innego) postępuje się w sposób następujący: Najpierw ładujemy jedną butelkę do potencjału V , który mierzymy elektrometrem; następnie podczas gdy obie zewnętrzne okładki połączone są z ziemią, łączymy ze sobą okładki wewnętrzne. Skutkiem czego potencjał spada do V_1 . Mamy wtedy

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{V - V_1}{V_1}.$$

Dowiedź tego.

Wstęp: Ilość elektryczności w obu razach jest ta sama.

3. Jak jest urządzony kondensator Thomson'a o pierścieniu ochronnym?

4. Jak się dają porównywać pojemności dwu kondensatorów zapomocą galwanometru balistycznego?

5. Jak zastosować sposoby podane w pytaniach 2 i 4 do oznaczenia stałych dielektrycznych?

6. Butelka lejdejska posiada średnicę wewnętrzną 20 cm i zewnętrzną 20,6 cm. Wysokość zbroi z cynfolii wynosi 30 cm. Dno jest 5 mm grube. Stała dielektryczna flintglasu wynosi 8,5. Ile w przybliżeniu absolutnych jednostek elektrostatycznych a ile mikrofaradów wynosi pojemność tej butelki?

Wstęp: składa się ona z kondensatora kształtu walca 30 cm długiego, o promieniach 10 i 10,3 cm. Dno stanowi kondensator krążkowy o promieniu 10 cm, grubości 0,5 cm.

Rozwiązanie: 4738 cm lub 0,005212 mf.

7. Baterię z 20 butelek tej samej wielkości co w pyt. 6 ładujemy do potencjału $100 \text{ cm}^{1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}$, stosownie do odstępu oko o 1,6 cm pomiędzy dwoma kulami, średnicy 1 cm każda. a) Ilu to voltom odpowiada? b) Jak wielką jest ilość elektryczności w absolutnych jednostkach elektrostatycznych i w coulombach? c) Jak wielką jest energia przy ładowaniu w ergach, vcb i klgm? d) Ilu gramokaloryom odpowiada ta energia?

Rozwiązanie: a) 30150 v; b) $9476000 \text{ cm}^{3/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}$,

0,003143 cb; c) $473800000 \text{ cm}^2 \text{ g s}^{-2}$, 47,38 v cb, 4,83 kgm; d) 11,4 gkal.

8. W jaki sposób można porównywać absolutną jednostkę elektrostатыczną ilości elektryczności z dawniej wyprowadzoną absolutną jednostką elektromagnetyczną tej wielkości? Jaki wynik daje to porównanie?

9. Co się okazuje przy porównywaniu odpowiednich jednostek natężenia prądu, potencjału i różnicy potencjału i pojemności?

10. Jakie są praktyczne jednostki ilości elektryczności, natężenia prądu, potencjału i pojemności? Jaki jest stosunek tych jednostek do odpowiednich jednostek elektrostатыcznych?

11. Daj krótki opis absolutnego elektrometru Thomson'a oraz sposobu pozwalającego przyrządem tym określać potencjały i różnice potencjałów w absolutnej mierze elektrostатыcznej?

12. Jakie urządzenie posiada elektroskop Behrens'a? Jakim sposobem przyrząd ten Hankel przemienił w czuły elektrometr?

13. Opisz urządzenie i sposób użycia kwadransowego elektrometru Thomson'a.

WYKŁAD XXXVII.

Treść: Zasadnicze doświadczenie Volty. — Szereg napięciowy Volty. — Teorya zasadniczego doświadczenia Volty. — Siły elektromotoryczne pomiędzy metalami a cieczami przewodzącymi. — Teorya ogniwa woltaicznego. — Ogniwa woltaiczne o dwóch cieczach. — Źródło energii w ogniwie woltaicznym. — Termoelektryczność. — Szereg napięć termoelektrycznych. — Termostosy. — Pytania.

Skoro poznaliśmy już na poprzednim wykładzie w elektrometrach Hankel'a i Thomson'a przyrządy miernicze nader czułe i przeto dogodne do mierzenia najmniejszych wartości potencjału, możemy obecnie przystąpić do nieco dokładniejszego rozważenia różnic potencjału, powstających między rozmaitemi częściami składowemi ogniwa woltaicznego.

Zasadnicze doświadczenie Volty. Już dawniej, na początku wykładu XVIII, nadmieniliśmy, że sprzeczności zachodzące w objaśnieniu danem przez Galvaniego, a dotyczącem jego doświadczeń z żabami, zniewoliły Voltę do uważania, iż siedliskiem siły elektromotorycznej są miejsca zetknięcia przewodników różnorodnych. By tego dowieść, zbudował on najpierw dostatecznie czuły elektroskop o żdźbłę słomy (następnie żdźbła słomy zastąpione zostały przez Bennet'a listkami złota). Gdy to jeszcze nie wystarczało, wymyślił on, w celu wzmocnienia działania, stosowny kondensator. Każdą blachę cynkową i równowartą miedzianą zaopatrzył on w rączkę izolującą. Potem obie przyłożył mocno do siebie i znowu odsunął w położenia ściśle równoległe; w ten sposób blacha cynkowa okazała się na-

elektryzowaną +, miedziana —. Wobec tego Volta chętnie przypuszczał, że przy zetknięciu metali różnorodnych następuje podział elektryczności; gdyż *blachy zrobione z jakichkolwiek dwu innych metali różnorodnych*, które on brał zamiast miedzi i cynku, okazywały ładunki elektryczne równej wielkości i przeciwne.

Oto w jaki sposób można objaśnić działanie kondensatora w tym doświadczeniu. Po zetknięciu obie płyty metalowe tworzą kondensator o bardzo cienkiej przedzielającej warstwie powietrza, bezpośrednie zetknięcie metaliczne następuje stosunkowo w niewielu tylko punktach. Gdy więc w tych miejscach zetknięcia elektryczność + popchniętą jest ku cynkowi, ujemna zaś ku miedzi, co stanowi, dajmy, różnicę potencjału $\frac{3}{4}$ volta, tedy kondensator odpowiednio do swojej pojemności naładuje się w ten sposób, że cynk będzie elektrododatnim, miedź elektrodujemą. Gdybyśmy mieli krążki o promieniu 5 cm i warstwę przegradzającą powietrza 0,005 cm grubą, tedy pojemność owego kondensatora (str. 386) byłaby

$$C = \frac{\pi \cdot 5^2}{4 \pi \cdot 0,005} = 1250 \text{ cm.}$$

Po odsunięciu płyt pojemność każdej z nich stała się o wiele mniejszą, z pewnością mniejszą od pojemności kuli o jednakowym promieniu, czyli mniejszą od 5 cm. W ten sposób różnica potencjału na blachach rozsuniętych wynosi przeszło $\frac{1250}{5}$ czyli przeszło 250 razy więcej niż na blachach złączonych w jeden kondensator, więcej przeto od 190 v; w ten sposób blacha cynkowa, przy połączeniu

miedzianej z ziemią i po rozsunięciu posiadać może potencjał + 200 V lub więcej.

Szereg napięciowy Volty. Tego rodzaju doświadczenia najpierw wykonane były przez Voltę a potem w podobny sposób lepszymi przyrządami przez Kohlrausch'a, Hankel'a, Gerland'a, Clifton'a, Pellat'a, Ayrton'a i Perry'ego. Wszyscy ci badacze potwierdzili owo doświadczenie Volty, iż metale dają się grupować w t. zw. *szereg napięciowy*, w którym każdy metal poprzedzający razem z każdym następnym w szeregu tworzy kondensator, przyczem pierwszy metal jest dodatni, drugi ujemny. Sam Volta podaje ten *szereg napięciowy*:

+ cynk, ołów, cyna, żelazo, miedź, srebro, złoto, węgiel —.

Lecz ponieważ według postrzeżeń Hankel'a właściwość powierzchni wywiera wielki wpływ na wielkości różnic w napięciach, nie powinniśmy przeto dziwić się, że inni obserwatorowie znaleźli w tym szeregu pewne zmiany.

Dla szeregu tego Volta dowiódł prawa następującego:

Różnica napięć pomiędzy dwoma metalami w szeregu równa się sumie różnic napięć w metalach pośrednich.

I to prawo było potwierdzone przez późniejsze ścisłejsze postrzeżenia.

Owóż Hankel znalazł dla metalów oczyszczonych papierem szmirglowym i wytartych z kurzu, przyjmując za 1 różnicę napięcia między cynkiem a miedzią

Cynk względem

ołowiu	cyny	mosiądzu	żelaza	miedzi	złota	srebra	platyny
0,44	0,51	0,78	0,84	1	1,10	1,18	1,23

Ayrton i Perry znaleźli dla metali handlowych

Cynk względem

ołowiu	cyny	żelaza	mosiądzu	miedzi	platyny	węgla
0,238	0,301	0,611	0,682	0,726	0,983	1,096 v.

Clifton dla *cynku względem miedzi* znalazł 0,891 v, gdy Pellat zamiast tego 0,888 v. Ponieważ obadwaj, podobnie jak Hankel, używali metali starannie oczyszczonych szmirgłem, tedy i u Hankel'a *cynk z miedzią* dawałby różnicę potencjału 0,89 v, skutkiem czego liczby Hankel'a przeliczone na volty dałyby:

Cynk wobec

ołowiu	cyny	mosiądzu	żelaza	miedzi	złota	srebra	platyny
0,39	0,45	0,69	0,75	0,89	0,98	1,05	1,09 v.

Teorya zasadniczego doświadczenia Volty. Powinniśmy teraz szczegółowo zastanowić się nad tem: co się odbywa, gdy *zamykamy* kondensator, utworzony z dwu rozmaitych metali? Aby odpowiedzieć na to pytanie, złożmy kondensator z blachy cynkowej (Zn) i miedzianej (Cu) i nie-

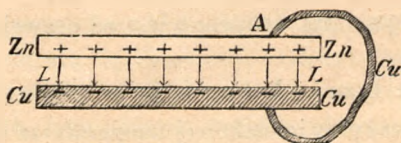


Fig. 349.

chaj *łuk zamykający* go składa się również z drutu miedzianego (Cu), który dotyka blachy cynkowej (Zn) w A. Wynikiem tego doświadczenia jest, jak wiemy, polaryzacja dielektryczna przegradzającej warstwy powietrza L

w kierunku zaznaczonym przez strzałki. Siły elektromotoryczne, będące przyczyną tej polaryzacji, mogą być czynnemi tylko w trzech punktach zetknięcia ciał różnorodnych, a m. Zn — L, L — Cu i Cu — Zn. Gdy oznaczymy je poprostu przez symbole Zn | L, L | Cu i Cu | Zn, tedy ich całkowita suma powinna wyrównywać różnicę potencjału, którą widzimy później między Zn a Cu i która powoduje polaryzację dielektryczną powietrza. Skoro tę różnicę potencjału oznaczymy przez A, będziemy mieli

$$\text{Zn} | \text{L} + \text{L} | \text{Cu} + \text{Cu} | \text{Zn} = \text{A}.$$

Jeżeli oba metale i łuk zamykający Cu posiadają tę samą temperaturę, tedy możemy przyjąć, iż wartość Cu | Zn

$$\text{Zn} | \text{L} + \text{L} | \text{Cu} = \text{A}.$$

A jest dodatnie, jeśli polaryzacja idzie w kierunku umieszczonej strzałki, zaś w kierunku przeciwnym jest odjemne. Tym sposobem

$$\text{Cu} | \text{L} + \text{L} | \text{Zn} = - \text{A},$$

bo polaryzacja tutaj zwrócona jest od prawej ręki ku lewej, czyli

$$\text{Cu} | \text{L} = - \text{L} | \text{Cu} \text{ i } \text{L} | \text{Zn} = - \text{Zn} | \text{L}.$$

Ponieważ przy jednakowej temperaturze siły elektromotoryczne między dowolnemi metalami są zerem, więc łuk zamykający może się także składać z jakiegokolwiek bądź innych metali, naprz. z platyny (Pt). A w takim razie mielibyśmy zamiast Cu | Zn = 0 sumę Cu | Pt + Pt | Zn = 0, gdyż składniki tej sumy pojedynczo równe są zeru.

Lecz części te przestają być zerem, skoro metale posiadają rozmaite temperatury, o czem wspomnimy w krótkości poniżej.

Siły elektromotoryczne między metalami a cieczami przewodzącymi. Zastąpmy dolną blachę kondensatora przez lejek mający brzeg poziomy i równo oszlifowany (fig. 350), który to lejek łączy się z boczną rurką szklaną

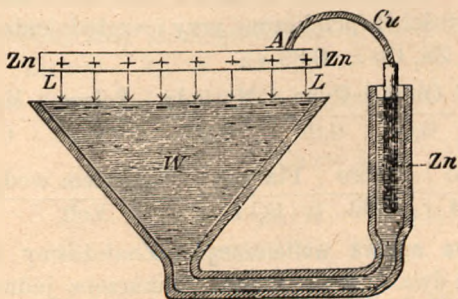


Fig. 350.

i aż po brzeg napełniony jest jakąkolwiek cieczą przewodzącą a więc dającą się chemicznie rozłożyć (patrz str. 52) naprz. zwykłą wodą. Jeżeli teraz w bocznej rurce zanurzymy kawałek tego samego metalu, z którego zrobiona jest dolna płyta kondensatora (naprz. Zn) i który metalicznie jest z nią połączony, tedy kondensator po dłuższym zanurzeniu t. j. skoro wytworzył się pewien stan równowagi, wykazuje ładunek widoczny z figury, t. j. płyta Zn jest elektrododatnią, woda elektrodjemną.

Gdy oznaczymy w ten sposób zaobserwowaną różnicę potencjału przez B, tedy

$$\text{Zn} | \text{L} + \text{L} | \text{W} + \text{W} | \text{Zn} = \text{B}.$$

Atoli obecnie wartość W | Zn we wszystkich wypadkach, gdy na zanurzoną metalu odbywa się jakakolwiek zmiana chemiczna, *nie jest równa zeru*.

Dla starannie oczyszczonych metali i po dłuższym (10 do 30 cm) zanurzeniu w wodzie Hankel znalazł następujące wartości B (przeliczone przy uwzględnieniu różnicy potencjału Zn, Cu = 0,89 v):

Cynk	Ołów	Cyna	Mosiądz	Żelazo	Miedź
0,18	0,07	0,09	0,25	— 0,24	0,07
Złoto	Srebro	Platyna	Względem wody		
0,14	0,06	0,14	Volt		

Teorya ogniwa voltaicznego. Znaleźliśmy dawniej (str. 9), że dwa rozmaite metale, zanurzone jednocześnie w cieczy, ulegającej rozkładowi chemicznemu, okazują względem siebie i cieczy różnicę potencjału, która może wytworzyć w przewodniku, łączącym oba metale nazewnątrzą cieczy, *nieustający* prąd elektryczny. Ciecz ulega przytem rozkładowi chemicznemu, podczas którego jeden metal się rozpuszcza. Ten ostatni metal tworzył dla zewnętrznego obwodu zamkniętego zawsze koniec *odjemny*, podczas gdy drugi metal stanowił koniec *dodatni*.

Obecnie nastęrcza się pytanie, w jakim związku znajduje się fakt powyższy z postrzeżeniami, przytoczonymi w ciągu obu ostatnich wykładów. Związek ten ujawnia się w sposób następujący: przypuszczamy, że chodzi tu o cynk i miedź w wodzie. Wówczas cynk wobec wody

na podstawie poprzednich poglądów daje różnicę potencjału

$$\text{Zn} | \text{L} + \text{L} | \text{W} + \text{W} | \text{Zn} = \text{B}.$$

Podobnie mamy dla miedzi

$$\text{Cu} | \text{L} + \text{L} | \text{W} + \text{W} | \text{Cu} = \text{B}'.$$

Wynika ztąd:

$$\text{B} - \text{B}' = \text{Zn} | \text{L} - \text{Cu} | \text{L} + \text{W} | \text{Zn} - \text{W} | \text{Cu}.$$

Możemy tedy pisać, ponieważ $-\text{Cu} | \text{L} = \text{L} | \text{Cu}$ tudzież $\text{W} | \text{Zn} = -\text{Zn} | \text{W}$

$$\text{B} - \text{B}' = \text{Zn} | \text{L} + \text{L} | \text{Cu} - \text{Zn} | \text{W} - \text{W} | \text{Cu}$$

i tutaj

$$\text{Zn} | \text{L} + \text{L} | \text{Cu} = \text{A}$$

a zatem

$$\text{B} - \text{B}' = \text{A} - \text{Zn} | \text{W} - \text{W} | \text{Cu}$$

albo

$$\text{Zn} | \text{W} + \text{W} | \text{Cu} = \text{A} - \text{B} + \text{B}'$$

t. j. musimy otrzymać *siłę elektromotoryczną* ogniwa cynk | woda | miedź, jeśli wstawimy zamiast A, B, B' z prawej strony wartości podane na str 408 — 409.

Przy użyciu liczb Hankel'a otrzymujemy

$$\text{Zn} | \text{W} + \text{W} | \text{Cu} = 0,89 - 0,18 + 0,7 = 0,78 \text{ volt}$$

$$\text{Zn} | \text{W} + \text{W} | \text{Pt} = 1,09 - 0,18 + 0,14 = 1,05 \quad "$$

$$\text{Zn} | \text{W} + \text{W} | \text{Pt} = 0,20 - 0,07 + 0,14 = 0,27 \quad "$$

Gdy więc zbudujemy ogniwa: cynk | woda | miedź, cynk | woda | platyna, miedź | woda | platyna, tedy metale miedź, platyna, platyna będą biegunami dodatnimi, meta-

le cynk, cynk, miedź będą odjemnemi, różnice zaś potencyałów muszą posiadać wartości 0,78 v, 1,05 v i 0,33 v. Gdy zmierzmy je wprost, łącząc jeden biegun tych ogniw z ziemią, drugi zaś biegun z czułym elektrometrem, tedy wychylenia elektrometru muszą odpowiadać powyższym różnicom potencyału. W istocie bezpośrednio to badanie daje wartości powyższe.

Gdy dalej połączymy biegun miedziany ogniwa cynk | woda | miedź drutem z biegunem miedzianym ogniwa miedź | woda | platyna tedy otrzymujemy

$\text{Zn} | \text{W} + \text{W} | \text{Cu} + \text{Cu} | \text{W} + \text{W} | \text{Pt} = \text{Zn} | \text{W} + \text{W} | \text{Pt}$,
bowiem $\text{W} | \text{Cu} + \text{Cu} | \text{W} = 0$.

A zatem *do prostych ogniw voltaicznych* stosuje się prawo następujące:

Dla każdej cieczy, chemicznie się rozkładającej, czyli przewodzącej, metale dają się uszeregować w taki sposób, że zawsze przy jednoczesnym zanurzeniu w cieczy, metal poprzedzający w szeregu staje się odjemnym względem następującego, różnica zaś napięcia pomiędzy dwoma jakiegokolwiek metalami szeregu równa się sumie różnic napięć metali położonych w tej przerwie.

Naprzykład mielibyśmy

$\text{Zn} | \text{W} | \text{Pt} = \text{Zn} | \text{W} | \text{Fe} + \text{Fe} | \text{W} | \text{Cu} + \text{Cu} | \text{W} | \text{Pt}$ i t. d.

I to prawo *galwanicznego szeregu napięć* zostało potwierdzone przez liczne postrzeżenia. Tego rodzaju szeregi napięciowe dla rozmaitych cieczy zostały ustalone przez Fechner'a, Davy'ego, Poggendorff'a, Faraday'a i innych, atoli szeregi, otrzymane dla jednej i tej samej cieczy i tych samych metali przez rozmaitych badaczy, nieraz bardzo się od siebie różnią. Oto kilka takich szeregów:

Wobec wody podług Fechnera	Wobec kwasu siarczanego rościeńczonego podług Faraday'a	Wobec kwasu siarczanego podług Poggendorff'a	Wobec roztworu żółtej soli podług Poggendorff'a	Wobec roztworu siarku potasu podług Faraday'a
cynk ołów cyna żelazo antymon bizmut miedź srebro złoto	cynk kadm cyna ołów żelazo nikiel bizmut antymon miedź srebro	cynk kadm żelazo cyna ołów glin nikiel antymon bizmut miedź srebro platyna	cynk kadm ołów miedź antymon cyna bizmut nikiel żelazo srebro węgiel platyna	kadm cynk miedź cyna antymon srebro ołów bizmut nikiel żelazo

Sily elektromotoryczne prostych ogniw voltaicznych również były zmierzone przez rozmaitych badaczy, zwłaszcza przez Poggendorffa, Hockina, Taylora i innych.

Ogniwa voltaiczne o dwóch cieczach. Widzieliśmy już, że proste ogniwo Volty, służące do wytwarzania prądów elektrycznych, bardzo prędko staje się nieczynnem skutkiem polaryzacyi. Celem usunięcia tej ostatniej począto używać ogniw o dwóch cieczach — tu należą Grove'go, Bunsen'a i Daniell'a (patrz str. 14 do 30).

Stosunki w tych razach są bardziej złożone, bo w miejscu zetknięcia dwóch rozmaitych cieczy przewodzących występują sily elektromotoryczne, które dodają się do tych, jakie zachodzą między metalami a cieczami. Można i te sily elektromotoryczne mierzyć zapomocą kondensatora i elektrometru, biorąc zamiast blach kondensatorów płyty zwierciadlane, zwilżone od stron zwróconych do siebie daną cieczą; łączymy je zapomocą nitki napojonej tą cieczą. W taki sposób Kohlrausch wykazał, iż kwas azotny jest dodatnim wobec ługu potasowego.

Źródło energii w ogniwie voltaicznym. Za źródło *energii* w ogniwie voltaicznym musimy wyłącznie uważać *działanie chemiczne*, zachodzące pomiędzy cieczami a metalami, tudzież pomiędzy cieczami. W każdej sprawie chemicznej powstaje lub znika *ciepło*. Jeżeli przytem ilości ciał będą się ze sobą łączyły lub rozdzielały się w stosunku do ich ciężarów atomowych, wtedy *wartość cieplna* (termiczna) takiej sprawy chemicznej będzie dla niej charakterystyczną.

Jest ona wielkością *dodatnią*, jeśli *ciepło się wyzwala* i *odjemną*, jeśli *ciepło bywa pochłaniane*; pierwsze zjawisko następuje w ogólności przy łączeniu się chemicznym, drugie przy rozkładzie.

Moglibyśmy tutaj oczekiwać, że siła elektromotoryczna ogniwa zawsze jest proporcjonalną do sumy algebraicznej wartości cieplnych tych przebiegów chemicznych, jakie się przytem odbywają.

Chcąc to sprawdzić, przeprowadzimy rachunek dla ogniwa Daniell'a. Łączy się w nim cynk z kwasem siarczanym, dając w rezultacie siarczan cynku, który rozpuszcza się w wodzie obecnej. Przez to powstaje na każdy gram — atom (czyli 64,88 g) cynku 106090 gram-

mokaloryj; a więc na 1 g cynku powstaje $\frac{106090}{64,88} =$

1635,2 gr.-kaloryj i na każdy coulomb powstały w ogniwie (bo 1 cb odpowiada 0,0003369 g cynku) 0,5509 gr.-kal. Powtórnie siarczan miedzi w ogniwie rozkłada się na miedź i kwas siarczany. Wartość cieplna na 1 gr.-atom (t. j. 63,18 g) miedzi, wydzielonej z siarczanu miedzi, wynosi 55960 gr.-kal.; tym sposobem 1 g odpowiada — 885,9 gr.-kal. i na 1 coulomb, co odpowiada 0,0003280 g wydzielonej miedzi, $= - 0,2906$ gr.-kal. A więc na każdy coulomb pozostaje się $0,5509 - 0,2906 = 0,2603$ gr.-kal., co odpowiada (według str. 89) $0,2603 \cdot 4,169 = 1,085$ v cb (1 gr.-kalorya odpowiada właściwie 4,169 volt-coulomb). Według tego siła elektromotoryczna ogniwa Daniell'a odpowiadałaby 1,085 volt, co prawie jest zgodnem z postrzeżeniami.

Podobnym rachunkiem znajdujemy też dla innych ogniw po części bardzo znaczne odstępstwa pomiędzy E. M. S. obliczoną a rzeczywistą. Gdyż bynajmniej nie zawsze cała wyzwalająca się energia chemiczna przechodzi w elektryczną, lecz w wielu razach pewna jej część straconą jest w śród miejscowych spraw chemicznych, zmian koncentracji, miejscowego wytwarzania się ciepła i t. d., tak iż rzeczywista E. M. S. wypada *mniejsza* od obliczonej na podstawie wartości cieplnych. Są jednak ogniw, w których rzeczywista E. M. S. jest większa od obliczonej, miejscowe bowiem związki cieplne otrzymują dla ogniwa ciepło z zewnątrz, które tutaj przekształca się w energię elektryczną.

Termoelektryczność. Zwracaliśmy już uwagę na str. 411 na to, że siły elektromotoryczne w miejscach zetknięcia rozmaitych metali przestają być zerem, jeśli tylko istnieją tam *różnice temperatury*.

Doświadczenie XXVII. Połączmy dwa kawałki miedzi drutem miedzianym z końcówkami bardzo czułego galwanometru i przyciśnijmy mocno te kawałki do siebie. Galwanometr nie daje żadnego wychylenia. Powtórzmy teraz doświadczenie po rozgrzaniu uprzednim jednego kawałka miedzi, a otrzymamy wnet wychylenie galwanometru odpowiadające prądowi, który przechodzi od zimnej miedzi do rozgrzanej.

Doświadczenie XXVIII. Weźmy prostokątny kawałek bizmutu i przylutujmy doń na miękko w obu końcach w sposób zaznaczony na fig. 351 pałąk miedziany cd. W pałąk wstawmy igłę kompasową i płaszczyznę pałąka wprowadźmy w południk magnetyczny. Rozgrzewamy

teraz miejsce zlutowane b i wnet biegun Pn igły wychyla się ku przodowi. Z próby prawej ręki wnosimy, iż w miejscu zlutowanym przy rozgrzaniu przebiega prąd od bizmutu do miedzi (w kierunku wskazanym przez strzałkę na rysunku przy a). Prąd ten znika, skoro miejsce zlutowane ostygnie. Gdy potem zaczniemy oziębiać miejsce zlutowania na lewo, tedy prąd pójdzie zaraz w tym samym kierunku. Gdy natomiast będziemy ogrzewali miejsce zlutowania a, prąd pójdzie w kierunku oznaczonym przez strzałkę przy b.

Można też lutować ze sobą sztabki z rozmaitych metali w jednym z końców, przylutowując jednocześnie do wolnych końców druty miedziane, które odchodzą do czułego galwanometru. Otrzymujemy wtedy, przy rozgrzaniu lub oziębieniu miejsca zlutowanego obu metali prąd, który w drugim razie zawsze jest odwrotnym do pierwszego.

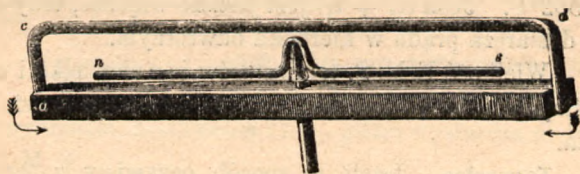


Fig. 351.

Szereg napięć termoelektrycznych. Jeśli jedno miejsce zlutowane utrzymujemy w pewnej określonej temperaturze, a drugie ogrzewamy do temperatury wyższej, tedy na mocy wyników otrzymanych możemy metale uszeregować w taki sposób, że prąd w miejscu cieplejszem zawsze

przebiegać będzie od metalu poprzedzającego do następnego. Według Hankel'a mamy tedy kolejkę: bizmut, nowe srebro, nikiel, kobalt, platyna, złoto, mosiądz, miedź, cyna, glin, ołów, drut miedziany, cynk, srebro, kadm, żelazo i antymon.

Siła elektromotoryczna termostosów przy małych tylko różnicach temperatury okazuje się do nich proporcjonalną. Zależy ona także od absolutnej wysokości temperatury w miejscach zlutowanych. Dla wielkiej liczby termostosów podług Avenarius'a siłę elektromotoryczną można przedstawić zapomocą wzoru następującego:

$$e = (t_2 - t_1) [a + b (t_2 + t_1)].$$

Jeśli b jest odjemne, $e = 0$ nie tylko wtedy, gdy $t_2 = t_1$, czyli gdy niema tu żadnej różnicy temperatury, lecz i wtedy gdy $a + b (t_2 + t_1) = 0$ czyli $t_2 + t_1 = -\frac{a}{b}$.

W ogniwie miedź | żelazo zdarza się to naprz., jeżeli $t_2 + t_1 = 552^\circ \text{C}$. Jeśli $(t_2 + t_1)$ jest jeszcze większe, tedy ogniwo dostarcza prądu w kierunku odwrotnym.

Wielkość E. M. S. termostosów jest niewielka i w pomysłnych razach dochodzi zaledwie do wysokości 0,08 volta.

Termostos. Jeżeli w sposób oczywisty z fig. 352 sprzęgniemy ze sobą pewną liczbę ogniw termoelektrycznych, tedy otrzymamy t. zw. *termostos*. Gdy ponumerujemy miejsca zlutowane kolejnymi liczbami 0, 1, 2, 9, 10, tedy parzyste wypadną z jednej strony, nieparzyste z drugiej. Jeśli pierwsze będziemy utrzymywali w temperaturze niższej, drugie zaś będziemy ogrzewali, tedy siły elektromotoryczne pojedynczych ogniw dodadzą się i ter-

mostos da się użyć podobnie jak ogniwo lub bateria Volty do wytwarzania prądów elektrycznych.

Pewna, bardzo drobna część ciepła, doprowadzona do miejsc zlutowanych, zamienia się przytem w energię elektryczną, druga zaś, znacznie większa, ginie przez promieniowanie i przewodnictwo. Z tego powodu wyzysk materiału opałowego w termostosach jest bardzo niekorzystny i to tem bardziej, iż sposób doprowadzania ciepła wytworzonego, do współczesnych stosów termoelektrycz-

nych wielce jest niedoskonały. Stosownie do tego wydajność owych termostosów w najlepszym nawet razie dzisiaj nie dosięga 2%, czyli nie odzyskujemy tu w postaci energii elektrycznej nawet $\frac{1}{50}$ energii kalorycznej wytworzonej z materiału opałowego (zazwyczaj z gazu oświetlającego).

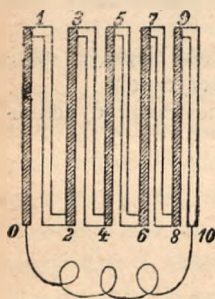


Fig. 352.

Pomimo to w pewnych razach dają się z korzyścią stosować a m. do galwanicznego pozłacania, srebrzenia, niklowania i t. d., gdzie wystarcza niewiel-

ka E. M. S.

Pytania do wykładu XXXVII.

1. Opisz zasadnicze doświadczenie Volty i wskaż wyniki tegoż.
2. Jak działa kondensator w tym doświadczeniu?
3. Wskaż szereg napięciowy Volty. Jakie ma on znaczenie?

4. Jak się objaśnia zasadnicze doświadczenie Volty? W jakich miejscach mamy uważać siły elektromotoryczne za czynne?

5. Co widzimy, skoro utworzymy kondensator z jednego metalu i jednej cieczy wobec powietrza jako dielektryka?

6. Co nastąpi, jeżeli kawałek cynku i kawałek miedzi zostaną zanurzone w naczyniu z wodą a potem na przemian połączone jeden z elektrometrem, drugi z ziemią? Jak się zjawisko to da objaśnić?

7. Jakie jest źródło energii elektrycznej w ogniwie galwanicznym, dostarczającym prądu?

8. Co rozumiemy przez wartość cieplną sprawy chemicznej?

9. Dlaczego suma algebraiczna wartości cieplnych ogniw nie jest miarą niezbędną siły elektromotorycznej?

10. Co to są ogniwa termoelektryczne oraz prądy termoelektryczne?

11. Jak się urządzą termostasy?

WYKŁAD XXXVIII. *)

Treść: Szybkie wyładowania elektryczne. — Doświadczenia Tesli. — Fale elektryczne i doświadczenia Hertza. — Rezonans elektryczny. — Fale elektryczne wzdłuż drutów. — Zachowanie się prądu w przewodnikach. — Stojące fale elektryczne. — Promienie elektryczne oraz własności tych promieni.

Szybkie wyładowania elektryczne. Istnieje szereg doświadczeń (Henry, Wheatstone, Feddersen i in.), przekonujących niezbicie, że wyładowania butelek lejdejskich, kondensatorów oraz przyrządów indukcyjnych odbywają się wahadłowo, jeśli tylko opór, przez który wyładowanie się odbywa, nie jest duży. Zjawiska tego okiem tylko nie sposób odróżnić, ale jeżeli iskrę butelki lejdejskiej będziemy rozpatrywali w szybko obracającym się zwierciadle (około 800 obr. na sek.), zauważymy, iż obraz jej będzie przerywany i składa się z kolejnych obrazów o jasności peryodycznie się zwiększającej i zmniejszającej, co dowodzi, że w iskrze zachodzi peryodyczny ruch elektryczności tam i napowrót. W tym samym czasie zbroje butelki lejdejskiej zmieniają swoje ładunki z dodatnich na ujemne i naodwrot. Uboczny ale przekonujący dowód widzieć można w tem, że igły stalowe, umieszczone w spiralnej z grubego drutu miedzianego, przez którą odbywają się wyładowania butelki lejdejskiej, wciąż jednakowo lado-

*) Rozdział ten dodany został przez tłumacza, który opierał się przytem na dziełach już przytoczonych w ciągu tej książki oraz na „Compendium der Physik“ dr. L. Graetz'a 1895

wanej, zmieniają nieustannie swoje bieguny tak, że biegun Pn znajduje się to w jednym, to w drugim końcu igły.

Takie wyładowanie nazywamy *oscylującym*, albo *wahadłowym*. Przypomina to poniekąd to co się dzieje z wahadłem albo z cieczą w rurce zakrzywionej U, które pod wpływem bezwładności (a tu pod wpływem samoindukcji) wahają się wciąż za punkt równowagi; gdy jednak opór jest bardzo duży, wahadła lub ciecz powoli i bez wahań wracają do stanu równowagi.

Te wahania elektryczne pochodzą ztąd, iż skutkiem samoindukcji (patrz str. 143 do 146) w drutach wyładowujących zaraz po pierwszym wyładowaniu wzbudza się prąd tego samego kierunku, podobnie jak to bywa przy przerywaniu każdego prądu. Przez to następuje ponowne naładowanie kulek lub okładek (zbroi) kondensatorów, w kierunku przeciwnym pierwotnemu. Następuje nowe wyładowanie tych ładunków, przyczem wzbudza się prąd i t. d. Rzecz trwałaby bez końca, gdyby służące do wyładowywania druty nie stawiały pewnego oporu. Tymczasem opór ów sprawia, iż energia elektryczna przemienia się w ciepło i wyładowania prędko ustają. Gdy opór jest bardzo znaczny, to już przy pierwszym zaraz wyładowaniu cała energia elektryczna przechodzi w ciepło i wyładowania wahadłowe znikają.

Teorię tę zawdzięczamy lordowi Kelvin'owi (Sir W. Thomson) a sprawdzenie doświadczałne Feddersenowi.

Najważniejszy wynik tych badań polega na tem, iż w drutach wyładowujących krążą prądy peryodycznie zmienne, sinusoidalne, których okres wyraża się zapomoćą równania $T = 2\pi \sqrt{LC}$, liczba zaś okresów na sekundę

$n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}}$, gdzie L jest współczynnikiem samoindukcji, C — pojemnością drutów. Z wzoru powyższego widać, iż częstość wahań daje się zwiększyć przez zmniejszenie pojemności elektrycznej i samoindukcji a zarazem że w obwodzie prądu o danej pojemności i samoindukcji wytworzyć można w całej pełni tylko taki prąd zmienny, którego liczba okresów równa się tej, jaka byłaby w tym obwodzie przy wyładowaniu. W ogólności zdarzają się tu tylko pewne określone drgania, o obszerności szybko się zmieniającej, bo przebieg wyładowania trwa tylko przez mały ułamek sekundy. Prąd więc wyładowujący przebiega jak na załączonej figurze, atoli liczba

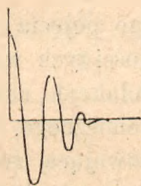


Fig. 53.

$\frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$ jest charakterystyczną dla każdego obwodu o prądzie zmiennym, określa bowiem jego własne wahania. Przytem jednak przypuszczamy, iż opór nie jest za-
duży.

Przykład. Niechaj kulki na załączonej figurze mają promień 10 cm; w takim razie pojemność jednej kulki wynosi 10 jednostek elektrostatycznych albo, ponieważ

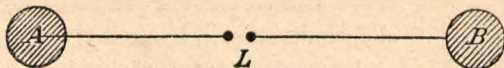


Fig. 354.

1 elektrostatyczna jednostka równowarta jest $\frac{1}{9} \cdot 10^{-20}$ jednostkom elektromagnetycznym, $1, 11 \cdot 10^{-20}$ tych je-

dnostek. Jeżeli każdy z drutów wyładowujących, prowadzących od kulek do przerwy na iskry, ma długość 50 cm i grubość 5 cm, tedy współczynnik samoindukcyi drutów, jak widać z rachunku, wynosi 1740 absol. jednostek, co daje na zasadzie wzoru poprzedniego, czas wahnięć elektrycznych $0,00000002828 = 2828 \cdot 10^{-11}$ sekundy i olbrzymią liczbę 35360700 okresów na sekundę.

Ponieważ długość fali jednego drgania $\lambda = vT$, gdzie v jest szybkością rozchodzenia się fali, która dla światła i dla elektryczności jest $3 \cdot 10^{10}$ cm, tedy $\lambda = 3 \cdot 10^{10} \cdot 2828 \cdot 10^{-11} = 848,4 \text{ cm} = 8,484 \text{ m}$, czyli większa jest od długości drutów wyładowujących, a zatem się na nich nie mieści.

Z obliczeń tych nabieramy niejakiego pojęcia o długości fal elektrycznych i o znacznej częstości tych wahań. Zarazem pojmujemy, że już mała samoindukcja może tu mieć większe znaczenie od dużego oporu omicznego. Przykład widzimy w tym, że jeśli iskrę wyładowującą zwrócimy na drut D , który dwiema odnogami łączy się z ziemią, to obierze ona drogę z przerwą F , o oporze omicznym dużo większym od drugiej, która zawiera wiele skrętów, a więc posiada znaczną samoindukcję.



Fig. 355.

Doświadczenia Tesli. Ciekawe te doświadczenia robione były z prądami zmiennymi o bardzo wielu okresach i wysokim napięciu. Twórca ich popchnięty do tego był przez cel praktyczny, wiedział bowiem dobrze, iż rurki Geisslera świecą same, bez połączenia drutem, w obecności iskier w induktorze Rühmkorffa.

Do wytwarzania powyższych prądów Tesla użył zwykłej dynamomaszyny prądu zmiennego o wielu biegunach (384) i szybkim obrocie 2000 do 3000 obr. na minutę; ponieważ *częstość okresów równa się połowie iloczynu z biegunów przez ilość obrotów na sekundę*, przeto miewał on w ten sposób około 15000 okresów na sekundę.

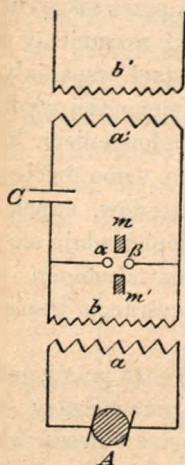


Fig. 356.

By otrzymać więcej, użył Tesla kondensatora, ładowanego prądem zmiennym o wysokim napięciu. Do głównego nawinięcia a I transformatora dochodzi zwykły prąd zmienny z dynamomaszyny A. Prąd wtórny, mający około 10000 v napięcia, ładuje kondensator C i skoro tylko nabój w kondensatorze dosięgnie odpowiedniego potencjału, następuje wyładowanie dwa razy w ciągu każdego okresu w przerwie $\alpha\beta$. Powstające przytem drgania przebiegają po obwodzie $C\alpha\beta$, w którym a' ozna-

cza główne nawinięcie transformatora II. Transformator ów nie posiada jądra żelaznego, gdyż przy tym napięciu i liczbie okresów wpływ hysterezy byłby zawielki; cały przyrząd spoczywa w naczyniu z olejem, który stanowi najlepszą izolację. W transformatorze tym drgania, już i tak wysoko napięte przez wyładowanie kondensatora, transformują się jeszcze wyżej i w ten sposób w obwodzie b' powstają prądy o wieluset tysiącach okresów i krociach

tysięcy voltów napięcia. Obok przerwy do iskiei 3 mieści się potężny magnes, który nie pozwala, by łuk świetlny trwał po wyładowaniu (jestto więc rodzaj przerywacza do tych potężnych napięć). To samo daje się wykonać zapomocą dmuchawki powietrznej.

Skoro końcówki obwodu a' zbliżą się do siebie na kilka cm, powstaje potężne wyładowanie przez iskrę i daje się słyszeć głośny trzask. Gdy końcówki rozsuniemy dalej, prąd wyładowuje się w powietrze w postaci wspaniałych kiści ognistych. Druty przewodzące w ciemności wydają się wtedy jakby otoczone niebieskawym płomieniem. Rurki Geisslera w ich sąsiedztwie świecą; to samo dzieje się ze zwykłymi rurkami szklanymi bez elektrodów, napelnionymi powietrzem rozrzedzonym. Najlepiej udaje się to, skoro rurki mieszczą się pomiędzy dwoma *ekranami metalowemi*, połączonymi z końcówkami wtórnego transformatora Tesli.

Wahaniemii temi możemy napelnić cały pokój, jeżeli u pułapu zawiesimy odosobniony ekran przewodzący (np. tektura powleczone cynfolią) i jeden koniec obwodu wtórnego połączymy z nim a drugi z ziemią. Gdy przechadzać się będziemy po takim pokoju z pomienioną rurką, natychmiast świecić się poczyną. Lampki żarowe o jednym tylko elektrodzie platynowym (lampka jednobiegunowa) połączonym z jednym tylko biegunem transformatora, zapalają się. Większe działanie otrzymał Tesla, gdy kolbkę lampki wprost drucika okleił paskiem cynfolii lub na końcu drucika platynowego osadził kawałek węgla.

Oczywiście stajemy tu wobec nowego rodzaju oświetlenia, które nawet zdaniem takich badaczy jak prof.

Ebert i Wiedemann wypada taniej od wszelkich innych rodzajów oświetlenia. Niestety, przewodzenie prądów o takiej częstości okresów na dalszą odległość jest niemożliwe, z powodu utrudnionej izolacji i rozpraszania się drgań w powietrzu.

Ponieważ siła elektromotoryczna indukcji jest proporcjonalna do szybkości zmian w prądzie elektrycznym (str. 99), przeto działanie indukcyjne owych prądów jest zaiste ogromne. Uwydatnia się to najlepiej w tych razach, gdy prądy te zmienne o wysokim napięciu i znacznej częstości przeprowadzamy przez grube przewodniki, naprz. przez pałąk miedziany jak na załączonej figurze. Opór skutkiem samoindukcji w drucie jest wtedy tak duży, iż



Fig. 357.

główna część prądu przechodzi przez lampki oznaczone, które przegradzają pałąk miedziany, nie zaś przez pałąk. Tak więc lampki się żarzą chociaż są krótko połączone. Doświadczenie to można na rozmaite sposoby odmieniać. Nawet masywny kawałek miedzi, zamykający na krótko lampę żarową, przedstawia przy znacznej częstości prądu zmiennego opór samoindukcji tak duży, iż lampka się żarzy. Na tem polega różnica między prądem stałym a zmiennym.

Przy prądzie zmiennym, nie tak jak przy stałym, w rozmaitych okolicach przekroju panuje niejednakowa gęstość prądu; w miejscach bliższych powierzchni, jest ona większa, w dalszych mniejsza. Przy znacznej częstości prądów zmiennych część środkowa przy osi może uchodzić

za bezprądową: ledwie $\frac{1}{100}$ mm gruba warstwa od powierzchni przewodników przewodzi prąd. W związku z tym znajduje się fakt, iż elektrody w doświadczeniach Tesli mogą się stykać z ciałem ludzkim bez szkody dla niego; wahaniami wtedy nie wchodzi wcale w ciało. Można więc wobec tych prądów zmiennych o wysokiej częstotliwości mówić tylko o oporze powierzchni. Opór należy tu przyjmować za proporcjonalny do powierzchni przewodnika.

Jeżeli bowiem, idąc za przykładem Töplera, połączymy gruby pałąk miedziany z bardzo cienką ale rozległą blachą z tego metalu, to przekrój całego układu prawie się nie zmieni, ale za to zmieni się znacznie powierzchnia. Wtenczas lampki żarowe wtrącone pomiędzy równoległe odnogi pałąka gasną bądź całkowicie, bądź ciemnieją.

Tego rodzaju doświadczenia dowodzą, iż przewodniki o małej powierzchni o wiele łatwiej dają się przebywać prądom zmiennym o wysokim napięciu i stawiają im mniejszy opór niż przewodniki grube, okazujące prądowi znaczny opór powierzchni.

Doświadczenia Tesli dają się również wykonać (Himstedt) z dużą machiną influencyjną; atoli wabądłowe wyładowania, powstające pomiędzy jej biegunami, należy wtedy jeszcze przekształcić i wzmocnić przy pomocy kondensatora. Napięcia tą drogą otrzymane nie są jednak tej miary co otrzymane poprzednimi przyrządami.

Działania cieplne iskier Tesli bywają na tyle potężne, że od nich drzewo prędko się zapala. Gdy iskry te padają na blaszkę gipsową, tworzą na niej pasek jasno świecący, który przez stopniowe wysuwanie elektrodów daje się wydłużać i zakrzywiać.

Powiedzieliśmy, iż fale elektryczne rozchodzą się nie w samym drucie lecz wzdłuż jego powierzchni. Im wolniejsze są wahania sił elektrycznych naokoło drutu, tym głębiej działanie sięga do wnętrza drutu; lecz gdy prąd zmienia po wiele milionów razy na sekundę swój kierunek, całe prawie wnętrze drutu wolne jest od prądu. Zjawiska te przypominają zachowanie się przewodnika wobec bardzo szybkich zmian temperatury, odbywających się dookoła. Według rozmaitych badaczy blacha metalowa, otaczająca przewodnik lub ciało, stanowi doskonałą zasłonę wobec tych wahań odbywających się nazewnątrz.

Fale elektryczne i doświadczenia Hertza. Szybkie drgania, zachodzące przy wyładowaniach przez iskrę, stały się punktem wyjścia niezmiernie doniosłych badań, doświadczalnych, które dowiodły, że owe drgania elektryczne przenoszą się na podobieństwo promieni światła, dźwięku i ciepła; wedle tego *promienie elektryczne* podlegają tym samym prawom fizycznym co wogóle energia promienista. Przenoszenie drgań elektrycznych wymaga czasu. Doświadczenia te przekonały, iż działanie elektryczne nie jest wynikiem sił z odległości ale przenosi się w środowisku otaczającym od cząsteczki do cząsteczki. Doświadczenia Hertza, skierowane były do tego, by osiągnąć tak szybkie drgania elektryczne, któreby pozwoliły wprost mierzyć długość fal elektrycznych, jak wiadomo proporcjonalną do czasu tych drgań?

Mówiliśmy wyżej (str. 425), że *im mniejsza jest pojemność kondensatora, tym krótszy jest czas wahnięcia w iskrze wyładowującej, tym większa jest częstość drgań.*

Otóż najszybsze drgania udało się otrzymać Hertzowi przy użyciu bardzo małych kondensatorów.

Najprostszy jego przyrząd składał się z induktora do iskier Rühmkorffa, którego wyładowanie odbywa się w przerwie do iskier B. Wahania elektryczne, ztąd powstające, udzielały się zapomocą przewodnika spiralnego prostokątnego z drutu, posiadającemu w M bardzo małą przerwę do iskier. Gdy przewodnik przypada w samym

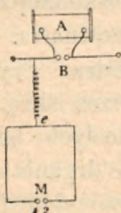


Fig. 358.

środku prostokąta e, w M nie widać iskier. Ale niechaj tylko ruchomy kontakt e zostanie nieco przysunięty, wnet drobne isierki się ukażą. W pierwszym wypadku fala elektryczna w jedną i drugą stronę ma do przebycia jednakową drogę, ztąd oba końce, tworzące przerwę do iskier, posiadają jednakowe napięcie. W drugim wypadku droga w jedną stronę jest krótsza niż w drugą, ztąd

powstaje w obu końcach różnica potencjału wyrównywająca się zapomocą iskry.

W innym doświadczeniu Hertz brał dwa proste druty $\alpha\alpha$, których końce zbliżone były o kilka milimetrów i tworzyły małą przerwę do iskier B, zaś do dalszych końców przymocowane były kulki, walce lub krążki C, C', stanowiące o właściwej pojemności przyrządu. Skoro tylko w B przeskakiwała iskra wyładowująca z cewki indukcyjnej A, powstawały tu bardzo szybkie wahania. Ilość elektryczności, nadechodząca z A, ładuje C i C', te zaś wyładowywują się przez B bardzo szybkimi wahaniami, ile że pojemność ich jest bardzo mała.

Zanim powstanie następna iskra, już szybkie te wahania ubiegają. Z pojemności i współczynnika samoindukcji przewodnika podług wzoru Kirchhoffa-Thomsona (str. 424) daje się obliczyć liczba wahań. W przewodnikach

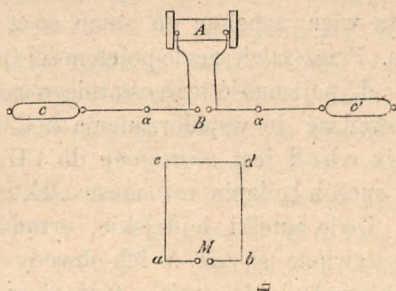


Fig. 359.

użytych przez Hertz'a wynosiła ona około 100 milionów, gdy butelki lejdeckie Feddersena dawały tylko około 1 miliona na sekundę.

Jeżeli w sąsiedztwie takiego przewodnika, przebieganego przez bardzo szybkie wahania elektryczne, umieścimy inny, tedy przez indukcję powstaną w nim również ruchy elektryczności w tę i ową stronę, a jeśli przewodnik, dajmy prostokątny (fig. 359), posiada przerwę do iskier *M*, to ruchy elektryczności uwydatnią się przez iskerki w tej przerwie *M*.

Rezonans elektryczny. Każdy taki układ posiada określoną pojemność i określony samopotencjał, a zatem własny określony czas wahanicia. Gdy czas wahania w przewodniku wzbudzonym (wtórnym) nie zgadza się z cza-

sem głównego CC' , wtedy ruchy elektryczności, jakie wzbudza CC' , poczęści zakłócone są przez własne wahania w $abcd$. Lecz skoro oba posiadają jednakowy czas wahnięcia, ruch w $abcd$ będzie się wciąż wzmacniał, aż iskry w M dojdą do największego natężenia. Dzieje się tu więc zupełnie to samo co z rezonansem akustycznym. Przez zawieszenie pojemności (płatków cynfolii) na $abcd$, pojemność tego ostatniego możemy zmieniać i doprowadzać do współbrzmienia z CC' ; mówimy, iż przewodnik $abcd$ jest *nastrojony* do CC' .

Prosty sposób badania rezonansu elektrycznego podał Lodge. Dwie butelki lejdejskie, urządzone jak do mierzenia, ustawione są tak, że ich obwody zamykające przebiegają równoległe do siebie. Gdy pierwsza zostanie połączona z maszyną elektryzującą, to, przy każdym jej

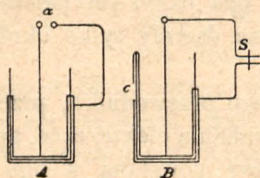


Fig. 360.

wyładowaniu, przez indukcyę, w drugiej powstawać będzie również wyładowanie, jeśli tylko butle i obwody zamykające są ściśle jednakowe. Gdy jednak drugiemu układowi nadamy inną wielkość, przesuwając ruchomy kon-

takt S , rezonans ustaje. Wahania pierwszej butelki nie będą dochodziły do drugiej, skoro umieścimy pomiędzy nimi ekran metalowy (szklany lub drewniany nie miałby żadnego wpływu na drgania elektryczne). Największe iskry wtórne otrzymują się wtedy, gdy wibrator i rezonator są jednakowo nastrojone.

Wiemy z poprzedniego (str. 357), że podług teoryi Faradaya-Maxwella ładunek przewodnika w ogólności

uważać należy za wynik *polaryzacji dielektrycznej* czyli przesunięć elektrycznych w otaczającym dielektryku. Wedle tego *zmiana przesunięcia elektrycznego w dielektryku działa ściśle tak samo, jak prąd elektryczny t. j. wzbudza prądy w przewodnikach sąsiednich*. Pogląd ten znalazł świetne potwierdzenie w następującym doświadczeniu Hertz'a. — Mamy główny układ poziomy, złożony z przewodnika z przerwą w środku na iskrę i z dwóch kwadratowych blach; nazwijmy go *wibratorem* albo *oscylatorem*. Na

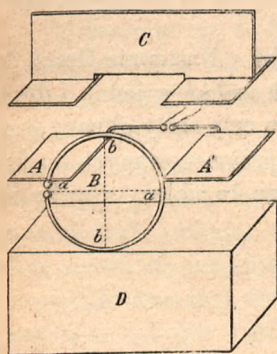


Fig. 461.

przewodnik wtórny obrano kółko $aa' bb'$ również z przerwą na iskrę przy a wymiarów takich, aby pozostawało w rezonansie z obwodem głównym; wtedy ten układ zwie się *rezonatorem*. Jeżeli płaszczyzna rezonatora jest prostopadła do płaszczyzny wibratora, przerwa zaś jest pozioma, to w rezonatorze iskry się nie pojawiają, bo przewodniki wpływające na siebie są wzajemnie prostopadłe.

Lecz jeśli do wibratora zbliżymy inny przewodnik C, to w nim również powstaną wahania, a wtedy w a wystąpią wahania, tak że wypadnie obrócić kółko przerwą do góry, by znowu iskry znikły.

Zupełnie to samo się dzieje, skoro do oscylatora przysuniemy nie przewodnik C lecz dielektryk D. I teraz w przerwie, poprzednio wolnej od isker, pojawiają

na, każdy zaś taki ładunek z kolei rzeczy wzbudza na P elektryczność odmienną; przez ten czas elektryczność jednakowa odpływa przez drut. Jeśli do drutu zbliżymy dostrojony przewodnik B formy prostokątnej albo okrągłej (jak na fig. 363), którego czułość daje się powiększyć zapomocą śruby mikrometrycznej, to w jego przerwie ukazać się drobne isierki. Fale elektryczne przebiegają wtedy z m wciąż do ziemi. Lecz jeśli koniec drutu będzie izolowany od ziemi, to drgania elektryczne będą się odbijały w tym końcu i przez interferencję z nowemi nadchoǳącemi drganiami dadzą t. zw. *stojące fale elektryczne*.

Posuwając się od izolowanego końca z rezonatorem B, umieszczonym jak na fig. 362, ujrzymy najpierw, że w końcu wolnym rezonator nie da isierki, co oznacza że tu jest węzeł; potem w miarę posuwania się ku n, iskry ukazywać się będą coraz dłuższe, dochodzą do pewnej największości, poczem zmniejszają się i nareszcie w pewnym punkcie drutu znikają. Mamy tu drugi węzeł. Następnie iskry znowu się potęgują, poczem w odpowiedniej odległości przy dostatecznej długości drutu węzły się powtórzą; miejsca te, tak jak w strunach dźwięczących, można oznaczyć skrawkami papieru. Długość drutu pomiędzy dwoma węzłami jest długością fal stojących istniejących w drucie. By to doświadczenie udało się w całej pełni, długość drutu winna być liczbą wielokrotną względem długości fali.

Do wykrywania wahań elektrycznych zamiast kółka z drutu posilkować się można z wielkim powodzeniem rurką szklaną, wypełnioną opilkami metalowemi, luźno ułożonemi; w oba końce rurki wtopione są druciki platynowe, dochodzące

do masy metalowej, zapomocą których rurka wtrąca się w obwód elektryczny, zawierający czuły galwanometr, naprz. zwierciadełkowy, oraz słabe źródło prądu. W zwykłym stanie opór takiej rurki jest tak znaczny, że prądu w obwodzie wcale lub prawie nie ma, co wyraża się w braku odchylenia na galwanometrze; lecz skoro tylko padną na nie fale elektryczne, opór odrazu się zmniejsza, i galwanometr daje mocne wychylenie indeksu. Potem należy potrząsnąć rurkę, aby przywrócić duży opór poprzedni i usunąć wychylenie galwanometru. Druty obwodu powinny być zabezpieczone od fal elektrycznych zapomocą zasłony metalowej. Ten szczególny wykrywacz fal elektrycznych o nadzwyczajnej czułości, wynaleziony przez p. Branly i nazwany przez Lodge'a „coherer” (cohesion - przyleganie) oddaje dziś ogromne przysługi badaniu fal elektrycznych i świeżo zastosowany został w telegrafii bez drutu.

Prostszy sposób okazania fal dał Lecher. Przed dwiema blachami AA' oscylatora ustawione są odpowiednie blachy BB' , od których odchodzą druty równoległe sg i $s'g'$. Gdy na tych drutach gdziekolwiek położymy rur-

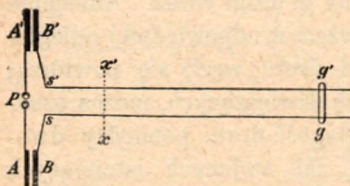


Fig. 364.

kę Geisslera, to pod wpływem drgań wzbudzonych zacznie ona świecić. Gdy jednak na obu drutach położymy pałąk łączący z drutu xx' , to w ogólności świecenie rurki ustanie,

gdyż fale elektryczne w ogólności przez pałąk z drutu będą zakłócone. Jedynie gdy pałąk leży nad węzłem fal elektrycznych, nie zakłóca ruchu fal i rurka w tym przypadku świeci dalej. Gdy pałąk będziemy przesuwali dalej wzdłuż drutów, rurka w pojedynczych miejscach świecić

przestanie. Są to węzły położone od siebie w odległości odpowiednich fal stojących.

Znając teraz długość fali stojącej w przewodniku, moglibyśmy określić prędkość posuwania się elektryczności wzdłuż takich drutów, gdybyśmy jeszcze znali okres wahań zastosowanych. Otóż okres ten oblicza się na mocy wzoru Kirchhoffa z pojemności i samopotencyału wziętego głównego przewodnika, do którego dostrojony jest wtórny. W wypadku uważanym przez Hertza całkowity czas wahnięcia wynosił niemal dokładnie 0,00000002 sekundy; długość fali stojącej była 2,8 m, wobec tego prędkość posuwania się fal elektrycznych wypadła

$$v = \frac{5,6 \text{ m}}{0,00000002 \text{ sek}} = 280000 \frac{\text{km}}{\text{sek}}$$

czyli prawie szybkość światła $300000 \frac{\text{km}}{\text{sek}}$. Ściślejśze doświadczenia Blondlot'a, wykonane później tą samą metodą, dały istotnie $29760 \frac{\text{km}}{\text{sek}}$.

Ruch elektryczności o wahaniami tak szybkich odbywa się zresztą zupełnie inaczej, jakbyśmy mogli sądzić z zachowania się prądów jednokierunkowych i wolnozmennych. Elektryczność porusza się tylko wzdłuż powierzchni drutu i prawie*) nie przenika do wnętrza. Wła-

*) Istnieją bardzo ciekawe doświadczenia w tej mierze Bjerknesa, który dowiódł, że drgania prądów szybkozmennych przenikają w przewodnik miedziany najdalej na 0,01 mm, w że-

ściwie nie możemy mówić o ruchu i posuwaniu się elektryczności w przewodnikach lecz tylko wzdłuż przewodników. Z wielu dowodzeń, na to przytoczonych przez Hertza, na uwagę zasługuje następujący. W przewodnik, przez który przesyłane są fale, wtrącono gruby drut miedziany, długości $1\frac{1}{2}$ m, w końcach którego osadzono dwa krążki metalowe $\alpha\beta$, z których każdy na brzegu w równych odstępach ma 24 otwory. W drucie istnieje przerwa do iskier A. Gdy fale biegły przez drut, wytwarzały się iskry 6 mm

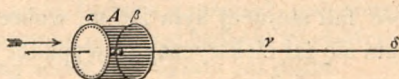


Fig. 365.

długie. Teraz przez dwa odpowiednie otwory krążków przeciągamy cienki drut miedziany. Wobec tego długość iskry spadła zaraz do 3,2 mm. Gdy przeciągnięto inny drut, spadła do 1,2 mm; przy następnych dwu drutach do 0,5 mm, a skoro przeciągnięto wszystkie druty, iskra we wnętrzu zniknęła. Przytem opór drutu wewnętrznego był o wiele mniejszy od oporu wszystkich drutów zewnętrznych razem wziętych. Dowodzi to, że fale elektryczne posuwają się tylko po powierzchni owej klatki z drutu,

lazny na 0,003 mm od powierzchni; w metale magnetyczne mniej niż w inne. Oprócz tego przenikanie zależy od ciężaru właściwego danego metalu. Nie mając pod ręką oryginalnych referatów, powołuję się na artykuł p. Biernackiego, drukowany we Wszechświecie r. 1894, str. 673, 692, 710.

gdy więc klatka będzie jednolita, będą się posuwały tylko po powierzchni drutu.

Stojące fale elektryczne w przestrzeni. Siły wywierane w powietrzu na przewodnik wtórny (rezonator) przez wahania elektryczne, wytwarzane w przewodniku głównym (oscylatorze), w ogólności zmniejszać się muszą w miarę wzrastania odległości. W rezonatorze owym powstają iskry, które się szybko zmniejszają, gdy rośnie odległość od oscylatora. Z oscylatora wychodzą przesun-

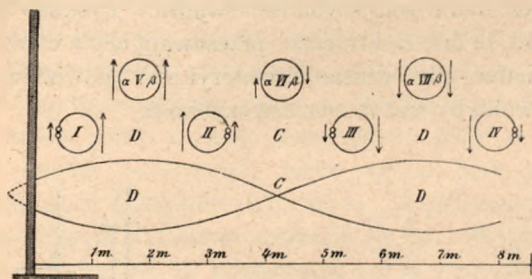


Fig. 366.

nięcia elektryczne o rychkich wahanich, które falami posuwać się muszą w przestrzeni (powietrzu). Gdy fale te w doświadczeniach Hertza uderzały o ścianę metalową (nieruchomą), powstawały zjawiska, dowodzące odbijania się fal o tę ścianę, przez co wtedy, jak zawsze w tych razach, powstawać musiały fale stojące. Gdy bowiem przewodnik wtórny znajdował się w miejscu I, iskry były o wiele dłuższe od strony zwróconej do ściany; rzecz się

miała odwrotnie w położeniu II, w III znowu jak w I i w IV tak jak w II. W położeniach przejściowych V, VI i VII iskry z obu stron były jednakowo długie, ale w położeniu VI w obu razach bardzo słabe, ledwie widzialne, w V i VII mocne. A zatem fala stojąca w C posiada węzeł, B i D grzbiety.

Gdy zmierzono długość fali stojącej (w tym doświadczeniu około 9 m) i określono jak dawniej czas wahnięcia, znaleziono szybkość posuwania się siły elektrycznej w przestrzeni (powietrzu). Z doświadczeń tych okazało się, iż jest ona równą szybkości światła. Zyskano przez to dowód, że fale elektryczne przesuwają się w eterze jak fale świetlne, gdyż własności materji ciał (powietrze etc.) nie dozwoliłyby na tak znaczną szybkość.

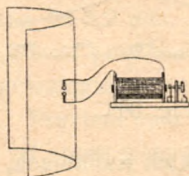


Fig. 367.

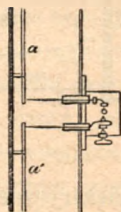


Fig. 368.

Promienie siły elektrycznej. Po doświadczeniach z odbiciem fal elektrycznych od ścian metalowych Hertz i jego następcy zajęli się zatrzymywaniem i skupianiem tych fal przez zwierciadła wklęsłe. Doświadczenia te wykazały uderzające podobieństwo tych zjawisk do zjawisk świetlnych. Umieścmy przewodnik główny (vibrator) oraz wtór-

ny (rezonator) na osi ogniskowej dwóch cylindrów parabolicznych z blachy cynkowej (fig. 367). Przewodnik główny składa się z dwóch krótkich, grubych sztab, zakończonych kulkami z przerwą na iskry. Zapomocą drutów, przechodzących w ścianie cylindra, łączy się oscylator z wtórnym nawinięciem cewki indukcyjnej.

Przewodnik wtórny może być takiej samej budowy albo składać się z kulki i ostrza (fig. 368) osadzonego na sprężynie, dającej się przysuwać i oddalać od kulki zapomocą śruby mikrometrycznej. Tworzyły się iskry wtórne w przerwie pomiędzy kulką a ostrzem. Fale wywołane przez wyładowania wibratora miały długość 60 cm. Gdy wibrator nie posiadał zwierciadła, można było w przewodniku rozpoznawać iskry tylko w odległości 1,5 do 2 m. Lecz skoro jeden i drugi umieszczone były w ogniskach swoich zwierciadeł, iskry można było zauważyć jeszcze w odległości 16 do 20 m. A zatem zwierciadła zapobiegają kulistemu szerzeniu się fal i skupiają je. Rzecz śmiało można, iż wytwarzają się tu *promienie elektryczne*.

Promienie te odznaczają się przedewszystkiem tem, że rozchodzą się prostolinijnie. Gdy bowiem pomiędzy dwoma zwierciadłami powyższemi ustawimy ekran z blachy cynkowej, cynfolii lub złożonego papieru, to iskry w zwierciadle wtórnym ustaną. Za to izolatory w ogólności przepuszczają te promienie. Woda dystylowana, zawarta w naczyniu czworogrannym ze szkła przepuszcza je, ale w miarę wzrastania przewodnictwa przez rozpuszczenie w niej kwasu siarczanego, stosownie do stopnia koncentracji, traci swoją przepuszczalność. Ciało

ludzkie, jako dobry przewodnik, nie przepuszcza drgań elektrycznych, o czem łatwo się przekonać, stając pomiędzy rurką Lodge'a a wibratorem. Przez drzwi drewniane promienie te dostają się do wnętrza mieszkania. Właściwości tych promieni, dzięki pracom Hertza i jego następców Sarazina, Righi, de la Rive i in. były zbadane i poznane bardzo szczegółowo. Widzieliśmy odbicie od zwierciadeł paraboliczne i odbicie od ścian metalowych przy wytwarzaniu fal stojących. Z równym skutkiem można otrzymać załamanie promieni elektrycznych, biorąc pryzmaty ze smoly, ebonitu i innych dielektryków i badając promienie po przejściu przez te ciała zapomocą wykrywacza. W ten sposób znaleziono, iż elektryczny współczynnik załamania smoly wynosi 1,69, gdy optyczny współczynnik załamania leży pomiędzy 1,5 a 1,6.

Zjawisko polaryzacji badać można zapomocą powyższych zwierciadeł parabolicznych. Gdy bowiem zwierciadło główne wraz ze swoim oscylatorem stoi pionowo, ruch elektryczności odbywa się w górę i nadół, powstają więc promienie, które z natury rzeczy spolaryzowane są w płaszczyźnie pionowej. Dopóki zwierciadło wtórne stoi również pionowo, zachodzą w nim żywe isierki; lecz jeżeli będziemy je stopniowo obracali, aż wreszcie jego oś ogniskowa stanie się poziomą, iskry będą się zmniejszały aż w końcu znikną. A zatem zwierciadła zachowują się jak skrzyżowane nikole.

Można też pomiędzy zwierciadłami umieścić ramę z przeciągniętymi wzdłuż niej drutami. Gdy druty były

prostopadłe do linii ogniskowych zwierciadeł, iskry nie ustawały; lecz skoro były równoległe, iskry znikwały. Gdy zwierciadła ustawiono tak, że ich osi ogniskowe były wzajemnie prostopadłe, a pomiędzy nie wtrącono ową ramę nachyloną w ten sposób, iż druty tworzyły kąt 45° z liniami ogniskowymi, tedy iskry napowrót się ukazywały w zwierciadle wtórnym. Rama zatem rozkłada drgania na dwie składowe, z których jedna jest prostopadła do drutów, druga równoległa. Pierwszą druty przepuszczają, i drgania jej wytwarzają iskry w zwierciadle wtórnym. A zatem rama działa tu na fale elektryczne zupełnie jak płytka turmalinu na promienie świetlne.

Podwójne załamanie, interferencya i t. p. zjawiska, niedawno uchodzące za wyłączną cechę promieni świetlnych, również były zaobserwowane w promieniach elektrycznych. Z badań tych wynika niezbicie, iż wahania elektryczne odbywają się w płaszczyznach prostopadłych do kierunku promieni, są więc poprzeczne tak, jak wahania promieni świetlnych. A zatem fale świetlne i elektryczne nie różnią się jakościowo, lecz tylko co do wielkości, a mianowicie długość pierwszych (i cieplnych) nie przekracza 8μ (0,008 mm), gdy w drugich może się wahać od centymetrów do wielu metrów. Na tej podstawie, tudzież na mocy jednakowej szybkości rozchodzenia się jednych i drugich fal i na mocy wzajemnego oddziaływania na siebie światła i elektryczności (magnetyczne skręcenie płaszczyzny polaryzacji, działanie magnesu na promienie katodowe i odwrotnie, działanie światła na wyładowania elektryczne, iskry i t. p.) zro-

dziło się w nauce przekonanie, iż fale świetlne są tylko szczególnym przypadkiem fal elektrycznych, są temi falami eteru, które się dają postrzedz okiem.

Pojęcie to zawdzięczamy *Maxwellowi*, teorię zowiemy *elektromagnetyczną teorią światła*.

DODATEK

do części trzeciej.

Wskazówki praktyczne, dotyczące sporządzania przyrządów, służących do doświadczeń z elektrycznością przez tarcie).*

Jak się robi rurka szklana do elektryczności przez tarcie. — [patrz figury 276, 287, 293].

1. Dostań rurkę szklaną blisko 60 cm długą i 3 cm grubą z najlepszego flintglasu, bez skaz i plam.

2. Przymocuj czystą szmatkę muslinową do pręcika szklanego, nasyc ją spirytusem winnym lub drzewnym i przeciągnij ją kilkakrotnie przez wnętrze rurki aż ta ostatnia stanie się zupełnie suchą. Spirytus ulotni się prędko.

Potrzymaj jeden koniec w płomieniu dmuchawki (przy silnym dopływie powietrza, t. j. w płomieniu bardzo szumiącym i o ile się da, w części jego zewnętrznej; bo inaczej skutkiem redukcyjnego działania wydziela się z flintglasu ołów i masa szklana ciemnieje) aż szkło zmięknie. Przytem należy rurkę obracać naokoło jej osi, pochylając jeden jej koniec na dół pod kątem blisko 45°, aż się ten koniec zatopi. Potem łagodnie dmuchamy przez otwarty koniec, aż się tamten koniec pięknie zaokrągli i po zatopieniu powolnie oziębamy w pobliżu płomienia aby rurka nie pękła po ostygnięciu. Wtenczas ogrzewamy rurkę słabo cd końca zatopionego do otwartego, chcąc usunąć wilgoć wprowadzoną przez oddech, poczem koniec otwarty staramy się również zatopić nad płomieniem tak, jak to się stało z tamtym. Gdyby się to nie udawało, należy zatkać ten koniec kor-

*) Porównaj uwagi wstępne w dodatku do cz. I.

kiem i zalać warstwą kitu szellakowego lub zamiast tego wziąć korek kauczukowy.

4. Od zewnątrz rurkę należy oczyścić starannie spirytusem winnym lub drzewnym.

Jak sporządzić rurkę szklaną do wahań w płaszczyźnie poziomej (fig. 280.).

1. Kupujemy rurkę z flintglasu, blisko 45 cm grubą.

2. Oczyszczamy ją, poczem koniec zatapiamy w sposób powyższy.

3. Równoważymy ją na ostrzu noża i punkt równowagi znaczymy atramentem.

4. Trzymamy rurkę poziomo w płomieniu dmuchawki (nie obracając jej) lub palnika Bunsen'a dopóty, aż mały kawałek rurki, położony nieco bliżej końca zatopionego niż kreska, zmięknie. Wtedy szybko wciągamy powietrze z otwartego końca rurki wobec czego we wnętrzu jej utworzy się zagłębienie kształtu, i następnie ogrzewamy ponownie tę część, przez szybkie zaś naciskanie zagłębienia ostrzem igły nadajemy mu kształt A.

5. Sprawdzamy wahanie się rurki i doprowadzamy ją po zatopieniu drugiego końca do stanu doskonałej równowagi (po usunięciu wilgoci przez ogrzanie rurki od końca zatopionego do otwartego).

6. Nareszcie oczyszczamy zewnętrznie rurkę spirytusem winnym lub czystą wodą.

Jak sporządzić pręt ebonitowy.

1. Kupujemy okrągłą laskę z najlepszego ebonitu izolującego blisko 60 cm długą i o średnicy 2,5 cm.

2. Obrównyujemy ją doskonale pilnikiem i końce starannie zaokrąglamy.

3. Wycieramy szklanym papierem, bacząc na to, ażeby nie dotykać jej tłustymi lub brudnymi rękami.

4. Nie należy polerować laski, gdyż w stanie teraźniejszym ona lepiej wytwarza elektryczność i o wiele lepiej izoluje.

Uwaga p. Kollerta. To ostatnie zresztą stosuje się do polerowania zapomocą oliwy; jeśli jednak zamiast niej użyjemy spirytusu, to laska polerowana z pewnością się okaże lepszą od wytartej. Jeżeli ebonit ma służyć wyłącznie do izolacji, tedy najlepiej, po wygładzeniu go szklanym papierem, powlec cienką warstwą lakieru szellakowego.

Jak sporządzić laskę ebonitową do wahaniasię w poziomie.

1. Kup kawałek najlepszego izolującego ebonitu, blisko 46 cm długi, 1 cm gruby i 2 cm szeroki.

2. Opiluj go dobrze, żeby był prosty, zaokrąglaj brzegi i rogi i wygładź jak przedtem, szklanym papierem.

3. Zrównoważ go starannie na stronie szerszej i oznacz punkt równowagi cienkim ostrzem.

4. Zrób szklany kołpaczek kształtu **A**, opisany na stronie 167 t. I.

5. Zrób stożkowaty otwór w punkcie określonym laski i przymocuj tam kołpaczek **A** szellakiem tak, żeby ostrze kołpaczka **A** widoczne było z drugiej strony laski. Skoro szellak stwardnieje, wygładź kołpaczek **A** od spodu odrobiną szmirglu wody na równej płycie żelaznej, tak, aby spód kołpaczka znalazł się w jednej płaszczyźnie z dolną stroną laski.

6. Wyczyść kołpaczek **A** grubą szpilką z watą umocowaną w spirytusie i spróbuj, czy całość się waha. Gdy to jeszcze nie nastąpiło, wtedy opiluj stronę cięższą, aż nareszcie laska dojdzie do równowagi.

Jak sporządzić listwę drewnianą do wahaniasię w poziomie (patrz fig. 302).

1. Nabądź kawałek drzewa sosnowego bez sęków, wyciętego w kierunku włókien, 2 m długi, 5 cm szeroki i blisko $\frac{3}{4}$ cm gruby.

2. Wyhebluj go jaknajlepiej, nadając w środku grubość 6 mm, a potem w obie strony coraz mniej, aż w końcach 3 mm, przy szerokości wszędzie jednakowej.

3. W środku ciężkości osadź na szellaku szklany kołpaczek A i zrównoważ go dokładnie.

Sporządzenie statywy izolowanej do sztabek i lasek wahających się w poziomie.

1. Dostań kawałek sośniny żółtej albo mahoni 12 cm $\times$ 12 cm $\times$ 2 cm, wyhebluj z niego prostokątną (stosownie do wskazówek, danych w dodatku do cz. II) podstawę do statywy. Wygładź go potem papierem szklanym i powleczone lakierem.

2. Dostań rurkę z najlepszego flintglasu bez skaz i plam, blisko 20 cm długą i 1 cm grubą.

3. Wnętrze jej oczyść (jak wyżej), zaś jeden koniec albo zatop na płomieniu dmuchawki albo zatkać korkiem ze stopionego szellaku.

4. Brzeży drugiego końca rurki zaokrąglisz na płomieniu.

5. Na stopionym szellaku osadź w otwartym końcu grubą igłę dokładnie w środku i równoległą do osi rurki, obracając lakier naokoło igły tak, aby się utworzył zgrabny stożek przez miarowe ogrzewanie go w płomieniu Bunsen'a i naciskanie między zwilżonym palcem wskazującym a wielkim.

6. W środku podstawy drewnianej zrób otwór taki, by rurka doskonale weń wchodziła i stała w nim zupełnie prostopadle.

7. Usuń teraz rurkę z podstawy i wyczyść ją spirytusem winnym. Trzymając rurkę za igłę, ogrzewaj ją miarowo nad płomieniem Bunsena, aż się rozgrzeje nieco powyżej ciemnej czerwoności, poczem polakieruj ją, przeciągając po całej powierzchni szczotką z lakierem.

Jak przyrządzić lakier szellakowy.

Włóż 30 g szellaku do butelki szklanej o szyi szerokiej i nalej do niej 150 g rektyfikowanego spirytusu winnego lub drzewnego. Zakorkuj butelkę i postaw w miejscu ciepłym, aż się żywica rozpuści, przy częstym wstrząsaniu. Wówczas prze-filtruj lakier, dolewając do niego nieco spirytusu w celu uczynienia go rzadszym i zmieniając filtr od czasu do czasu.

Lub też polej szellak spirytusem winnym lub metylowym (drzewnym) tak aby go całkiem przykrył i przy częstym wstrząsaniu pozostaw tak na 24 godzin. Potem zlewamy przezroczysty roztwór a nierozpuszczony szellak nalewamy nową ilością alkoholu.

Jak zrobić izolowany konduktor do badania rozmieszczenia ładunków.

1. Dostań kawałek dobrze wysuszonego drzewa sosnowego formy i wielkości prawie żądanej, chociaż umyślnie nieco przesadzonej po to by wytoczyć zeń wymiary żądane.

2. Na tokarni otrzymujemy z nich kawałki zupełnie gładkie i przydatne. W podobny sposób otrzymujemy podstawę z drzewa. Gdy niema pod ręką tokarni, przedmioty te niechaj kto inny wytoczy (z kądiną jest to może najstosowniejsze, gdy naprz. nasza tokarnia przeznaczona jest do metali, gdyż bieg jej jest zawolny do toczenia drzewa). Kula, którą przedstawia załączona figura 369 powinna mieć średnicę 10—15 cm, podstawa drewniana 12 — 17 cm przy grubości 2,5 do 3 cm.



Fig. 369.

3. Kup łaskę flintglasu 1,5 cm do 2 cm grubą i 25 do 30 długą. Oczyszczyć ją i polakierować jak wyżej statywę izolującą. Polakierowawszy, już nie dotykaj palcami z wyjątkiem końców, z obawy popsucia izolacji.

4. Zrób w kuli otwór w kierunku promienia (w ciałach innych w kierunku środka ciężkości) tak, żeby łaska szklana z łatwością tam wchodziła. W środku podstawy zrób też otwór, w który drugi koniec łaski mógłby dobrze wchodzić.

5. Całą powierzchnię drewnianej kuli lub konduktora innej formy pokryj gładką, jednostajną warstwą złota arkusowego lub papieru złotego, nie zostawiając żadnych zmarszczek ani części wystających.

Chcąc pokryć złotem arkuszkowym, najlepiej poradzić się złotnika lub jeszcze lepiej oddać mu do roboty.

Konduktor tej formy jest tani i lekki i służy do celów żądanych zarówno dobrze, jak jednolity lub prosty konduktor metalowy.

Prof. Ayrton poleca gorąco statywę izolującą następującej formy. Daje się ona wykonać przez ucznia w sposób następujący:

1. Należy dostać głęboką butelkę o szerokim równym dnie i o szyi niezbyt szerokiej w rodzaju powyższej.

2. Wziąć pręt z najlepszego szkła flintglasowego, z którego ma być zrobiony słupek szklany gs, nieporysowanego i bez plam, dostatecznie długi, by dosięgnął dna butelki i wystawał jeszcze 5 do 7 cm ponad szyją.

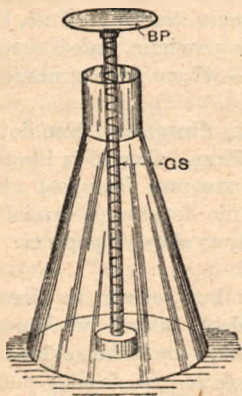


Fig. 370.

3. Na jednym końcu tej laski szklanej należy osadzić szeroki ciężarek ołowiany takiej średnicy, ażeby mógł wprost przejść przez szyjkę butelki.

4. Na górnej części słupka kładziemy płytkę mosiężną BP (albo ciało jakiegokolwiek formy naprz. konduktory kuliste, walcowate lub gruszkowate z rodzaju tych, o jakich wspomnieliśmy na wykładzie XXXII). Wtedy można rozmaite ciała zmieniać, gdyż płytkę mosiężną lub izolującą ebonitową może służyć za mały stół, na którym można kłaść rozmaite ciała naładowane.

5. Do butelki nalewamy mocnego i czystego kwasu siarczanego, lecz nie tyle, by sięgał aż do wierzchołka stożka. Oczyszczamy słupek szklany gs i wstawiamy go w butelkę jak na figurze. Kwas siarczany pochłania z powietrza wilgoć i utrzy-

muje słupek w stanie suchym. Słupek może być każdego czasu wyjęty i oczyszczony.

Jak przyrządzić amalgamat do szklanych narzędzi pocierających.

1. Łyżkę żelazną do topienia L kładziemy na trójnogu TS nad płomieniem palnika Bunsena.

2. Na łyżce tej stapiamy 50 g cyny, stopniowo dodając 50 g cynku i mieszamy to dobrze razem (fig. 371).

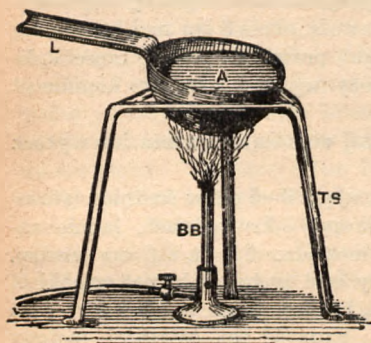


Fig. 371.

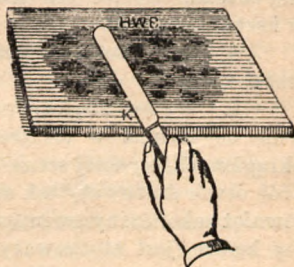


Fig. 372.

3. Dodajemy do tego, mieszając nieustannie 100 g rtęci.

4. Następnie niechaj mieszanina ta ostygnie, aż do zgęstnienia.

5. Wylewamy tyle, ile właśnie potrzeba, na gorącą deskę HWB (fig. 372) i rozprowadzamy giętym nożem K, posmarowanym odrobiną dobrze przemytego i wysuszonego smalcu. Resztę wylewamy do butelki szklanej i zatykamy.

6. Mieszaninę tę rozpościeramy jednostajną i cienką warstwą na narzędziu jedwabnym lub skórzanym do pocierania.

Jak się robi elektroskop o złotych listkach.

1. Dostań odpowiednią butelkę szklaną GS (patrz fig. 284 na str. 218) taką prawie jak na załączonej figurze, t. zw. butelkę florentyńską *).

2. Wyczyść starannie wewnątrz butelki lub flaszki florentyńskiej — wodą zmydloną a potem czystą, ciepłą wodą.

3. Wytocz zgrabną podstawę z drzewa WB, pasującą do dna butelki i przymocuj ją do tej ostatniej lakiem zwyczajnym lub szellakiem.

4. Dostań sztabę mosiężną R 3—6 mm grubą, dostatecznej długości tak, żeby wystawała około 8 cm nad krawędzią szyjki, gdy dolny koniec sięgał prawie do połowy części kulistej butelki. Koniec ten należy wyklepać szeroko i opiłować w kształcie łopatki.

5. Górny koniec R natnij w rodzaju gwinta lub wytocz stożkowato.

6. Wytocz krążek D, mający 3—5 cm w średnicy (stosownie do rozmiarów elektroskopu) o krawędziach, ładnie zaokrąglonych, z jednej sztuki mosiądzu 0,3 do 0,6 cm grubej. Zrób otwór śrubowaty tak aby weni wchodził koniec sztabki R również zakończony gwintem, lub też otwór stożkowaty, jeśli ów koniec jest stożkowaty. Korzyść tej ostatniej metody polega na tem, że pozwala ona z łatwością nasadzać na sztabkę inne konduktory, naprz. kulę lub ostrze. W pobliżu krawędzi robimy otwór blisko 1,5 mm szeroki w krążku D, aby ułatwić nasadzenie drutu miedzianego, grubej igły albo zapalki.

7. Wytocz korek drewniany, wchodzący w szyjkę butelki, w środku którego zrób otwór o średnicy blisko 1,2—2 cm, odpowiednio do średnicy sztabki R.

8. W miejscu, gdzie szellak S ma być przytwierdzony, ogrzewamy zlekką drut w płomieniu palnika Bunsen'a. Wytapiamy podwójny stożek szellakowy naokoło pręta (patrz figu-

*) Do szkolnych ćwiczeń flaszka powinna mieć około 45 cm wysokości i średnicę w części okrągłej 30 cm.

rę) i osadzamy pręt w samym środku korka drewnianego, ogrzewając szellak od zewnątrz aż do stopienia. Wtedy sprawdzamy, czy R stoi dokładnie pionowo, skoro korek już jest wpuszczony w szyjkę butelki. Obrównyujemy doskonale stożek szellakowy ostrym nożem lub kawałkiem szkła.

9. Teraz oczyścić należy starannie butelkę od zewnątrz wodą gorącą lub spirytusem winnym.

10. Dostań teraz książeczkę złota arkusowego. Ztąd kilka kartek kładziemy w pokoju zacisznym na czystej skórze wielbłądziej i zlekka naciskając, wycinamy z nich kilka odpowiednich pasków, używając do tego *czystego* noża. Jeśli złoto jest nieprawdziwe, możemy je obciąć długimi ostreми nożyczkami. Gdy elektroskop ma wielką formę odczytową, tedy możemy każdy listek, około 15 cm długi i najwyżej 1 cm szeroki, skleić razem z dwu pasków zapomocą bardzo rzadkiego roztworu gumy. Tak otrzymane listki rozpościeramy na kartce białego papieru i długim cienkim nożem wygładzamy jaknajstaranniej. Następnie listki przyklejamy bardzo rzadkim roztworem gumy z obu stron łopatki C, zważając na to, ażeby się listki przykrywały i leżały ściśle na przedłużeniu R.

11. Wewnętrzną stronę szyjki butelki lakierujemy werniksem szellakowym, bacząc by nie nakapać szellaku na dno; lakierujemy korek i wprowadzamy listki do wnętrza, poczem wciskamy mocno korek.

12. Sprawdzamy elektroskop potarty laską szklaną lub ebonitową i uważamy, czy listki rozchodzą się dobrze i jednako.

Jak sporządzić mały elektroskop laboratoryjny dla uczniów.

1. Postarajmy się o krótki i cienki walec mosiężny lub z blachy żelaznej cynowanej, jaki z łatwością otrzymać można z garnka używanego do gotowania rosółu; zamiast tego można wziąć puszkę blaszaną ośmiokątną z rodzaju tych, w jakich przechowują się herbata.

2. Zrób podstawę do tego cylindra w rodzaju załączonej na figurze.

3. W środku górnej części walca zrób otwór dostatecznie duży, by przezeń przechodziły listki złote.

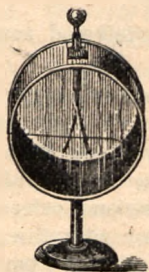


Fig. 373.

4. Wytnij dwa obrączkowe kawałki szkła dyamentem i każdy z nich przylep na swoim miejscu mastyksem lub szellakiem.

5. Dodajmy na końcu sztabki kulkę lub krążek tudzież na drugim końcu zrobmy łopatkę do listków. Wytoczmy korek, który ma wchodzić w górny otwór walca. Robimy dalej podwójny stożek z szellaku na sztabce i korku w rodzaju wyżej opisanego.

6. Wycinamy listki złote (młodszym uczniom polecamy do tego t. zw. metal niemiecki). Przytwierdzamy je do łopatki i wprowadzamy przez otwór do wnętrza walca. Osadzamy mocno korek jak w wypadku poprzedzającym.

7. Z przodu dajemy oprawę szklaną i badamy elektroskopem.

8. Naklejamy zakrzywioną wąską skalę (narysowaną na przezroczystej kalce do rysowania z zerem pośrodku i podzieloną na stopnie) na przednim szkłe wprost końców rozechodzących się listków. Skala ta ma służyć do oceny zgruba różnic potencjału i gęstości rozmaitych ładunków.

Jak się sporządza krążek próbny (fig. 285).

1. Bierzemy laskę flintglasu blisko 38 cm długą i 0,8 cm grubą.

2. Jeden koniec jej ogrzewamy na dmuchawce lub płomieniu Bunsen'a, aż zmięknie w zupełności. Wtedy od razu ją zginaemy pod kątem, znowu rozgrzewamy i zakrzywiamy, jak na figurze z lewej strony.

3. Wytaczamy lub wypilowujemy krążek z cynku lub mosiądzu o średnicy blisko 5,1 cm i grubości 0,2 cm z krawędziami zaokrąglonemi (patrz pierwszą i drugą z figur powyższych).

4. Przytwierdzamy szellakiem sztabkę mosiężną do krążka.

5. Oczyszczamy starannie łaskę szklaną i szellak w sposób wskazany już dawniej, skoro była mowa o sporządzeniu podstawy izolującej do listwy drewnianej, wahającej się w poziomie.

Inne formy próbnych krążków, które wyrysowaliśmy na figurach 285, dają się wykonać przez proste wytoczenie kawałka cynku lub mosiądzu w kształcie płytki lub kulki z rurką do osadzania izolującej rączki szklanej tak jednak by na nich nie pozostało się ostrych krawędzi. Zamiast krążka metalowego można wziąć okrągły krążek z tektury lub t. zw. włóknika (fibru) wulkanizowanego i powleczonego złożonym papierem, starannie wygładzonym.

Jak się robi elektrofor.

1. Wytocz podstawę drewnianą WB o średnicy około 20,3 cm.

2. W celu sporządzenia płytki metalowej MP wystarcza w środku górnej powierzchni WB przykleić okrągłą kartkę cynfolii o średnicy blisko 17,8 cm z trzema paskami cynfolii idącymi w kierunku promieni i wystającymi od spodu za brzeg W B.

3. Stapiamy pewną ilość siarki na zwykłej patelce i wylewamy ją zwolna na metalową płytę MP lub drewnianą podstawę WB.

4. Wytoczmy krążek z drzewa tej wielkości co okrągła była siarkowa.

5. Powlecmy go złożonym papierem, bacząc, by nie zostały się przerwy i nierówności.

6. Przyklejamy w środku tego krążka walec z otworem do umieszczenia pręta werniksowanego od rączki.

7. Krążek siarczany bijemy futrem kota i sprawdzamy skuteczność całego przyrządu według sposobu, wskazanego na wykładzie XXXI.

Profesor Guthrie daje następujący przepis sporządzania elektroforu, który jest jednak kosztowniejszy z powodu ceny żywicy i szellaku, używanego do izolowania płyty:

„Chcąc przygotować masę do elektroforu, rozpuszczamy na wagę jedną część wosku i pięć części szellaku, którego dodajemy stopniowo w miarę rozgrzewania. Albo pięć części szellaku, pięć gumy mastyksowej, dwie terpentyny weneckiej i jedną kleju morskiego. Bańki powietrzne, które się ukazują na powierzchni, przy topieniu należy usunąć zapomocą płomienia palnika Bunsenowskiego, który je przerywa.“

Powierzchnia buły siarkowej lub szellakowej powinna być dostatecznie wygładzona ostrym narzędziem tak, aby przylegała do metalowego krążka MD.

Program pytań egzaminacyjnych z magnetyzmu i elektryczności w „Science and Art“ 1894 *).

Magnetyzm.

1. Na podkowie magnesowej, położonej na stole, umieszczono kartkę tektury i na nią nasypało opilek żelaznych. Narysuj układ opilek przy pukaniu w tekturę. Jak się zmieni układ opilek, jeżeli bieguny podkowy zostaną połączone kotwicą żelazną i jeżeli pukanie zostanie powtórzone.

2. Jak urządzić układ magnesów, na który ziemia nie wywierałaby żadnego wpływu magnetycznego? Czy układ tak otrzymany będzie ulegał wpływowi magnesu położonego w pobliżu? Uzasadnij to.

*) *Uwaga.* Nauczyciel nie powinien zadawać więcej nad ośm pytań. Z tych dwa powinny należeć do zakresu magnetyzmu, trzy do elektryczności przez tarcie i trzy do elektryczności voltaicznej. Każde z pytań powinno mieć równowarte znaczenie.

3. Rurka szklana została prawie wypełniona opiłkami stalowymi i z dwóch stron zakorkowana. Jeżeli rurkę namagnesujemy według jednego ze zwykłych sposobów, tedy przy wstrząsaniu straci ona swoje własności magnetyczne. Wytłómacz to.

4. W środku okrętu ustawiono pionowo długą sztabę żelazną tak, że górny jej koniec przylega do kompasu od strony, która jest więcej zbliżoną do przodu okrętu. Jaki to skutek wywrze na kompas, jeśli okręt będzie żeglował prosto na wschód a) na półkuli północnej, b) na półkuli południowej?

Elektryczność przez tarcie.

5. W jaki sposób dowiedziesz, że szkło i jedwab, potarte o siebie, ładują się w równym stopniu lecz przeciwnie.

6. Krążek elektroskopu o złotych listkach, stojącego na stole izolującym, połączono drutem z rurą gazową. Jak to wpłynie na listki, jeśli do elektroskopu zbliżymy naładowaną łaskę szklaną? Uzasadnij swoją odpowiedź.

7. Naładowano dużą butelkę, której zbroja zewnętrzna łączy się z ziemią. Którą zbroję i dlaczego należy dotknąć elektrycznym wyładowywaczem, chcąc otrzymać wyładowanie?

8. Nienaładowana kula mosiężna wisi na nici jedwabnej wewnątrz blaszanego cylindra, który został odosobniony i naładowany dodatnio. Dotknij się na jedną chwilę najpierw kuli a potem cylindra drutem, połączonym z ziemią, poczem kulę odsuńmy od cylindra bez zetknięcia z nim. Wytłómacz, jakim stanem elektrycznym wtedy podlega cylinder?

9. Dwie kule mosiężne, z których jedną ogrzewa lampa, druga zaś otoczona jest mieszaniną oziębiającą, połączono prętem metalowym. Jeśli chcemy, by elektryczność przechodziła od jednej do drugiej kuli wzdłuż pręta w tym samym kierunku, w którym przebiega ciepło, opisz rodzaj stanu elektrycznego 1) przy lampie, 2) przy lodzie.

Elektryczność woltaiczna.

10. Jaką pewność mamy, że różnica stanu elektrycznego na biegunie dodatnim i ujemnym baterji woltaicznej jest taka sama, jak pomiędzy głównym konduktorem a pocieraczem na maszynie elektrycznej?

11. Opisz najprostsza formę galwanometru i objaśnij, jak należy go uzupełnić, by uczynić go czulszym.

12. Wytłomacz, dlaczego lampa żarowa rozgrzewa się, skoro przez nią przechodzi prąd dostatecznie mocny, gdy druty przewodzące prąd stosunkowo są chłodne?

13. Izolowany drut nawinięto kilkakrotnie w postaci szpuli prawoskrętnej naokoło jądra kształtu pierścienia z miękkiego żelaza, a potem kilkakrotnie w lewą stronę naokoło jądra. Jaki będzie stan magnetyczny pierścienia, jeżeli prąd będzie przebiegał po drucie od szpulki lewoskrętnej do prawoskrętnej?

14. Kawałek miedzi zgięty w kształcie podkowy wisi na ramieniu wagi; obie odnogi podkowy zanurzone są w dwóch rozmaitych naczyniach, zawierających roztwór siarczanu miedzi, na sztabce z przeciwległej strony leżą ciężarki w takiej liczbie, że równowaga jest zachowana. Przez pewien czas przepuszczano prąd przez oba naczynia i podkowę; elektrodami są blachy miedziane zanurzone w cieczy naczyń, które jednak nie dotykają podkowy. Jeżeli prąd przerwiemy, czy waga pozostanie w równowadze?

Program pytań egzaminacyjnych z magnetyzmu i elektryczności w „Science and Art“ 1895.

1. Igła magnesowa odchylona została przez sztabę magnesową, umieszczoną w pewnej od niej odległości. Jak się zmieniło odchylenie, skoro równoległe do magnesu, lecz bez zetknięcia z nim, umieszczono sztabę z miękkiego żelaza?

2. Znaleziono, iż pionowy pręt stalowy, którego część, wynoszącą mniej niż połowę długości, zatknęto w ziemię, magnesuje się potężnie. Jeżeli masz kompas i sznur, to w jaki sposób możesz, nie poruszając pręta, ocenić część zanurzoną?

3. Sztabę z miękkiego żelaza postawiono pionowo nad środkiem igły nachyleń, lecz nie dość blisko na to, by magnetyzm został w niej wywołany przez igłę. Czy wychylenie zwiększy się lub zmniejszy przez obecność sztaby i czy wynik będzie ten sam na obu półkulach?

4. Sztaba stalowa namagnesowana leży w pewnej znacznej odległości od kompasu i wytwarza pewną dewiację igły. Wtedy sztabę przełamano na dwie połowy, z których jedną umieszczono w tym samym miejscu co dawniej. Czy dewiacja kompasu będzie teraz większa lub mniejsza od poprzedniej? Uzasadnij swoją odpowiedź.

Elektryczność przez tarcie.

5. Wytłomacz, dlaczego na głównym konduktorze maszyny elektrycznej muszą być ostrza? A potem dlaczego pocieracze połączone są z ziemią?

6. Płat cynfolii zawieszono na suchej nici jedwabnej i naładowano jak wyżej z maszyny elektrycznej, lecz przy wyładowaniu otrzymano zeń tylko słabą iskrę. Skoro położono cynfolię na suchej płycie szklanej, umieszczonej na stole, tedy, po naładowaniu cynfolii z maszyny, daje się otrzymać świetna iskra. Wytłomacz przyczynę tej różnicy.

7. Opisz doświadczenie, wykazujące, że dwie części tego samego konduktora dają się rozmaicie naelektryzować, chociaż posiadają ten sam potencjał.

8. Wskaż niedogodności, płynące z użycia szkła do izolowania, i wskaż najlepsze środki do ich pokonania.

9. W jaki sposób doświadczalnie można dowieść, że naelektryzowane ciała, położone zewnątrz pustego konduktora, nie wywierają wewnątrz niego żadnej siły elektrycznej?

Elektryczność woltaiczna.

10. Dwa ogniwa galwaniczne zostały zrobione z identycznych materiałów, lecz w jednym blachy są większe niż w drugim. Jaki będzie skutek wprowadzenia w obwód obu w taki sposób, aby wysyłały prądy w kierunkach przeciwnych? Uzasadnij swoją odpowiedź.

11. Dwa kawałki ołowiu, połączone drutami z biegunami baterji woltaicznej, zanurzono w roztworze octanu ołowiu. Powiedz, co się wtedy stanie i wskaż dowód doświadczalny.

12. Po drucie pionowym do góry przebiega prąd elektryczny. Objaśnij różnicę w zachowaniu się igły kompasowej, skoro się ją umieści: a) w pewnej odległości względem północy magnetycznej drutu, b) w tej samej odległości względem wschodu magnetycznego od drutu.

13. Kawałek cynku i kawałek miedzi zostały wpuszczone w korek, który pływa po rościeńczonym kwasie siarczanym; górne ich końce są połączone drutem obwiniętym naokoło prostej poziomej rurki szklanej, położonej na korku. Opisz zachowanie się przyrządu: 1) przed 2) po wprowadzeniu małego magnesu ze stali hartowanej do wnętrza rurki szklanej.

14. Dwa magnesy mocno są przyczepione pod kątem prostym do drutu, który wisi tak, że magnesy mogą się obracać w kierunku poziomym. Magnesy są równoległe i bieguny ich podobne zwrócone są w jedną stronę. Zaopatrzone cię w giętki drut, po którym przebiega prąd elektryczny, i żądają, abyś określił (nie dotykając się magnesów), czy natężenie ich jest jednakowe. Opisz i objaśnij postępowanie w tym razie.

KONIEC TOMU DRUGIEGO.



SPIS RZECZY.

CZĘŚĆ DRUGA.

ELEKTROMAGNETYZM.

Ciąg dalszy.

WYKŁAD XX.

Str.

Dane historyczne dotyczące odkryć Galvaniego, Volty etc. — Stos Volty. — Pochodzenie nazw voltaż i volt etc. — Proste ogniwo voltaiczne, tudzież jego działanie chemiczne. — Polaryzacja. — Działanie miejscowe. — Amalgamowanie blach cynkowych. — Ogniwo Daniell'a, oraz jego działanie chemiczne. — Określenie spadku potencjału w ogniwie, oraz mierzenie jego oporu wewnętrznego. — Różne formy ogniw Daniell'a, Grove'go i Bunsen'a, Leclanché, oraz ich działanie chemiczne. — Pytania

6—33

WYKŁAD XXI.

Jeżeli siła pokonywa opór, powstaje ciepło. — Tablica dobrych przewodników, półprzewodników i nieprzewodników. — Przykłady na przekształcenie energii elektrycznej. — W każdej części obwodu prąd wytwarza ciepło. — Ciepło, wytwarzane w każdej części obwodu przez prąd po nim przebiegający, jest proporcjonalne do oporu tej części i do kwadratu natężenia prądu. — Opór przewodnika jest odwrotnie proporcjonalny do powierzchni jego przekroju. — Pytania

34—47

WYKŁAD XXII.

Polaryzacja w ogniwie o jednej cieczy, okazana zapomocą latarni czarnoksięskiej. — Elektrochemia albo rozkład cieczy, zapomocą prądów elektrycznych. — Określenie elektrolizy, elektrolitu, elektrodów, anodu, katodu, jonów, katjonu, anionu, wędrówki jonów, szybkości jonów, woltametr. — Elektroliza wody. — Akumulatory. — Galwaniczne pokrywanie metali (elektroplatya). — Elektrotypia. — Oznaczenie kierunku prądu w obwodzie i biegunów baterji lub dynamomaszyny przez elektrolizę. — Wiadomości historyczne. — Faraday'a prawa elektrolizy. — Działanie proste i uboczne czyli wtórne. — Mierzenie natężenia prądu woltametrem. — Pytania

48—84

WYKŁAD XXIII.

Prawo Joule'a. — Określenie dzielności prądu. — Absolutne jednostki oporu i siły elektromotorycznej. — Praktyczne jednostki oporu i siły elektromotorycznej. — Absolutne oznaczenie oporu zapomocą kalorymetru. — Chwilowa siła E. M. S. wzbudzona w elemencie przewodnika przez jego ruch w polu magnetycznym. — Inne określenie jednostki E. M. S. — Inna forma zasadniczego prawa indukcji. — Indukcja w przewodnikach zamkniętych. — Prąd całkowity wzbudzony. — Określenie absolutnej jednostki oporu i oma przez indukcję. — Określenie natężenia pól magnetycznych zapomocą prądów indukcyjnych. — Wzorce oporowe. — Pytania . . .

85—110

WYKŁAD XXIV.

Opór przewodników cylindrycznych i pryzmatycznych. — Tabelki oporów właściwych. — Jednostki oporu i skrzynki oporowe (oporniki). — Prawo Ohma. — Łączenie baterji. — Pytania . . .

111—129

WYKŁAD XXV.

Proste odgałęzienie prądu. — Zastosowania zwykłego odgałęzienia prądu. — Prawa Kirchhoffa. —

Most Wheatstone'a. — Samoindukcya. — Określenie elektromotorycznej siły bateryi, podczas dostarczania prądu. — Pytania 130—148

WYKŁAD XXVI.

Przyrządy indukcyjne. — Telefon i mikrofon. — Maszyny magneto-indukcyjne i maszyny o prądzie zmiennym. — Dynamomaszyny do prądu jednokierunkowego. — Indukcya jednobiegunowa (unipolarna). — Pole wirujące i prądy wielofazowe. — Transformatory. — Pytania 149—176

Dodatek do części drugiej.

Praktyczne wskazówki dotyczące sporządzenia przyrządów potrzebnych do doświadczeń z elektrycznością woltaiczną:

Jak się robi statywa Oersted'a do badania wpływu prądów na igłę magnesową. — Jak się robi galwanoskop. — Jak się robi solenoid. — Jak się robi elektromagnes. — Jak się robi dzwonek elektryczny 177—195

CZEŚĆ TRZECIA.

Elektryczność przez tarcie czyli Elektrostatyka.

WYKŁAD XXVII.

Dawna historia elektryczności i pochodzenie wyrazu. — Elektryzacja przez tarcie — Elektryzacja i przyciąganie. — Konieczność utrzymywania przyrządów w stanie suchym i ciepłym. — Stół do suszenia i ogrzewania tudzież piec wodny do ogrzewania. — Odpychanie elektryczne. — Pytania 196—210

WYKŁAD XXVIII.

Ogólne objaśnienie wyrażen „dodatnia” i „odjemna”. — Elektryczność dodatnia i odjemna. — Prawo pierwsze: jednoimienne ładunki odpychają się, różnoimienne przyciągają się. — Elektroskop o listkach złotych. — Użytki elektroskopu o listkach złotych. — Jak się wykrywa ładunek ciała zapomocą elektroskopu o listkach złotych. — Jak się przekonać zapomocą elektroskopu o listkach złotych, czy ciało posiada ładunek dodatni lub odjemny. — Pytania 211—227

WYKŁAD XXIX.

Przewodniki albo konduktory i nieprzewodniki albo izolatory. — Jak dowieść zapomocą elektroskopu o listkach złotych, czy ciało jest przewodnikiem lub izolatorem. — Elektryzacja przewodnika przez pocieranie. — Definicje: przewodnik, izolator, przewodnik niedoskonały, przewodzenie, izolacja, konwekcyja, uciekanie, przewodnictwo. — Pytanie próbne i odpowiedź. — Pytania 228—242

WYKŁAD XXX.

Jednoczesne wytwarzanie jednakowych ilości elektryczności dodatniej i odjemnej. — Analogia pomiędzy pneumatycznym a elektrycznym wytworzeniem napięcia dodatniego i odjemnego. — Szereg napięć elektrycznych, wywołanych przez tarcie. — Inne sposoby wytwarzania elektryczności jakoto łupanie, gnienie, zmiana temperatury, promieniowanie światła i ciepła, parowanie wody i zagęszczanie pary będącej w ruchu. — Pytania 243—257

WYKŁAD XXXI.

Indukcyja elektrostatyczna. — Ładowanie elektroskopu o listkach złotych przez indukcyję elektrostatyczną. — Ładunek wzbudza na ciele zamkniętym i odosobnionym ładunek równy i przeciwny. — Określenie indukcyi elektrostatycznej. — Elektrofor. — Jak się nabija elektro-

for. — Teorya elektroforu. — Jak się ładuje kon-
duktor izolowany z elektroforu dodatnio lub
odjemnie. — Pytania 258—273

WYKŁAD XXXII.

Elektryczne rozmieszczenie elektryczności na prze-
wodnikach. — Ładunek elektrostatyczny prze-
bywa na powierzchni. — Ładunek elektrosta-
tyczny przebywa na zewnętrznej powierzchni
pustych konduktorów izolowanych. — Roz-
mieszczenie, gdy nie ma żadnych innych wpły-
wów, zależy wyłącznie od formy przewodni-
ka. — Potencyał, gęstość, wysił elektryczny
i działanie ostrzy. — Prawo rozmieszczenia elek-
trostatycznego. — Pytania 274—290

WYKŁAD XXXIII.

Na gęstość powierzchniową wpływa rozległość po-
wierzchni. — Rozdział i ponowne rozmieszcze-
nie ładunków. — Wypadek kul równych. —
Wypadek kul nierównych. — Określenie po-
jemności. — Stosunek pomiędzy pojemnością,
ilością i różnicą potencyału. — Maszyna Win-
ter'a o tafli szklanej. — Budowa, działanie i te-
orya. — Połączenie z ziemią konduktora głów-
nego i odosobnienie konduktora uboczne-
go. — Krótkie połączenie pomiędzy kondukto-
rem głównym a ubocznym. — Izolowanie głów-
nego i ubocznego konduktora. — Maszyny
przenosząco-indukcyjne albo influencyjne. —
Pytania 291—312

WYKŁAD XXXIV.

Doświadczenia z maszyną Winter'a, przedstawiające
działanie wyładowań, ostrzy, ciał ogrzanych
i płomieni. — Definicje wyładowania, wyłado-
wania raptownego, nieustającego albo prądu,
świecącego, wiatru, kiści, iskry i rurki opró-
żnionej. — Kondensatory i gromadzenie ener-
gii elektrycznej. — Ładowanie kondensatora. —
Wyładowywanie kondensatora przez usuwanie
swobodnych ładunków. — Krótkie łączenie albo

wyładowywanie kondensatora w jednej chwili. — Określenie pojemności indukcyjnej właściwej. — Praktyczne zastosowania kondensatorów. — Butelka lejdejska. — Ładowanie i wyładowywanie butelki lejdejskiej. — Umieszczenie ładunków w kondensatorze lub w butelce lejdejskiej. — Łączenie butelek lejdejskich w baterie co do ilości i co do potencjału. — Ostateczne uwagi. — Pytania 313—351

WYKŁAD XXXV.

Prawo Coulomb'a. — Absolutna elektrostatyczna jednostka elektryczności. — Pole elektryczne i linie siły. — Natężenie pola elektrycznego i potencjał elektrostatyczny. — Powierzchnie stałego potencjału albo powierzchnie poziomu. — Indukcja elektrostatyczna w przewodnikach. — Potencjał i ładunek przewodnika. — Gęstość powierzchniowa i napięcie powierzchniowe przewodnika. — Wyładowanie elektryczne. — Praca ładowania i energia wyładowania. — Pytania 352—379

WYKŁAD XXXVI.

Teoria kondensatorów. — Oznaczenie stałej dielektrycznej. — Porównanie absolutnej elektrostatycznej z elektromagnetyczną jednostką ilości elektryczności. — Absolutny elektrostatyczny i elektromagnetyczny układ miar. — Absolutny elektrometr krążkowy Sir Williama Thomson'a. — Elektrometry do mierzenia bardzo małych różnic potencjału. — Pytania 380—405

WYKŁAD XXXVII.

Zasadnicze doświadczenie Volty. — Szereg napięciowy Volty. — Teoria zasadniczego doświadczenia Volty. — Siły elektromotoryczne pomiędzy metalami a płynami przewodzącymi. — Teoria ogniwa voltaicznego. — Ogniwa voltaiczne o dwóch cieczach. — Źródło energii w ogniwie voltaicznym. — Termoelektryczność. — Szereg napięć termoelektrycznych. — Termostosy. — Pytania 406—422

WYKŁAD XXXVIII.

Szybkie wyładowania elektryczne. — Doświadczenia Tesli. — Fale elektryczne i doświadczenia Hertza. — Rezonans elektryczny. — Fale elektryczne wzdłuż drutów. — Zachowanie się prądu w przewodnikach. — Stojące fale elektryczne w przestrzeni. — Promienie elektryczne oraz własności tych promieni 423—446

Dodatek do części trzeciej.

Wskazówki praktyczne, dotyczące wykonywania przyrządów przeznaczonych do doświadczeń z elektrycznością przez tarcie.

Jak się robi rurka szklana do elektryczności przez tarcie. — Jak sporządzić rurkę szklaną do wahania się w płaszczyźnie poziomej. — Jak sporządzić pręt ebonitowy. — Jak sporządzić łaskę ebonitową do wahania się w poziomie. — Jak sporządzić listwę drewnianą do wahania się w poziomie. — Sporządzenie statywy izolowanej do sztabek i lasek wahających się w poziomie. — Jak przyrządzić lakier szellakowy. — Jak zrobić konduktor izolowany do badania rozmieszczenia ładunków. — Jak się robi amalgamat do szklanych narzędzi pocierających. — Jak się robi elektroskop o listkach złotych. — Jak sporządzić mały elektroskop laboratoryjny dla uczniów. — Jak się robi krążek próbny. — Jak się robi elektrofor. — Program pytań egzaminacyjnych z magnetyzmu i elektryczności w „Science and Art“ 1894. — Program pytań egzaminacyjnych z magnetyzmu i elektryczności w „Science and Art“ 1895. 447—462

Spis ważniejszych oznaczeń i skrótów przyjętych w dziele.

Długość L , l	Natężenie prądu i
Masa M , m	Elektromotoryczna siła (E. M. S.) e
Czas T , t	Opór elektryczny w
Przekrój Q , q	właściwy s
Prędkość $\mathfrak{B}$, v	Przewodnictwo elektryczne
Przyśpieszenie p	właściwe $1/s$
Przyśpieszenie kątowe ζ	Różnica potencjału R. P.
Przyśpieszenie ciężkości g	Natężenie pola elektryczn. N
Dzielnosć, skutek K	Ilość elektryczności, ładunek
Praca mechaniczna P	elektrostatyczny Q
Natężenie bieguna magnetycznego $\mathfrak{M}$	Pojemność elektrostatyczna C
Natężenie pola magnetycznego $\mathfrak{H}$	Gęstość powierzchniowa σ
Moment magnetyczny m	Napięcie powierzchniowe S
" obrotowy D	Stała dielektryczna D
" bezwładności B	Potencjał elektrostatyczny V
Całkowity prąd magnetycz. Φ	Centymetr cm
Magnetomotoryczna siła F	Gram g
Opór magnetyczny W	Kilogram kg , kgr
Indukcja magnetyczna $\mathfrak{B}$	Sekunda s
Magnesowanie właściwe J	Om ω
Przenikalność magnetyczna μ	Amper a
Podatność magnetyczna κ	Volt v
Składowa pozioma magnetyzmu ziemskiego H	Watt w
Spółczynnik zamiany galwanometru c	Voltamper va
	Coulomb cb
	Farad f
	Mikrofarad mf

SKOROWIDZ ALFABETYCZNY

rzeczy, nazwisk i terminów,

napotykanych w ciągu dzieła.



	Tom I	Tom II.
Absolutna jednostka E. M. S.		87, 94
" " natężenia prądu	302	
" " oporu		87, 94
Absolutne pomiary	131, 141	
" mierzenie prądu	302	
Absolutny, bezwzględny układ miar	119	
" elektrostatyczny i elektroma- gnetyczny układ miar.		389
Absolutny elektrometr krążkowy Sir W. Thomsona		393
Akumulatory, ogniwa wtórne		57—67
Aktynoelektryczność.		254
Amalgamat, związek rtęci z metalem		453
Amalgamowanie, czynność pokrywania metali rtęcią		12
Amper, praktyczna jednostka natężenia prądu	302	
Ampère'a prawa	280—290	
" stolik	282	
Amperzwoje solenoidu	315	
Analogia pomiędzy pneumatycznym a elektrycznym napięciem, ciśnieniem.		246—249

	Tom I.	Tom II.
Anijon, jon dodatni		53
Anod, elektrod		53
Aperyodyczne, zatrzymujące się od razu galwanometry		106
Areometr, przyrząd do oznaczania cięża- ru właściwego		63
Astatyczna para, — y układ, — e igły	113—114	
Astatyczny galwanometr	291—233	
Balistyczny galwanometr; opis i działanie		103
Bateria	11	123
„ zanurzana		30
Behrens'a elektrometr		396
Bębnowy induktor, zbroja Hefner - Al- teneck'a		173
Bieguny magnesu, północny i południowy	8, 130	
„ magnetyczne ziemi	92	
Biegunowość prawdziwa ziemi	87, 91	
„ magnetyczna prądu kołowego	242	
„ solenoidu elektromagnetyczn	244	
Biot'a „doświadczenie z elektrostatycznym rozmieszczeniem		275
Biot-Savart'a prawo	299—300	
Biszkopt, rodzaj igły w elektrometrze kwadransowym		399
Blyth'a prof. solenoidalny miernik natęże- nia prądu	258—260	
Błąd całkowity kompasu	109	
Breguet'a miernik prądu		38
Bohnenberger'a elektroskop		396
Bunsen'a ogniwo albo cynk-węgiel		28—29
Busola, galwanometr stycznych	206	
„ „ wstaw	211—214	
Butla-kondensator, lejdejska, potęgująca		337
Callaud'a ogniwo		21
Całkowity prąd wzbudzony		101
Cardan'a pierścień	103	
Carhart'a mieszanina do ogniwa salmia- kowego		30
Cardew miernik prądu		92
Carré'go węgielki		113

	Tom I.	Tom II.
Dynamoelektryczna zasada . . .		159
Działanie zasłony magnetycznej . . .	63—65	
„ zasłony elektrycznej . . .		278
„ ciepłe iskry elektrycznej . . .		321
„ indukcyjne.	78	
„ ostrzy		284
Dzielność (skutek, efekt) mechaniczna . . .		86
„ prądu elektrycznego		125
Dziesiątkowe, dekadowe opory		118
Dzwonek elektryczny	264	
„ „ jak się robi		191—195
Ekstraprądy		143
Elster i Geitel, ognie św. Elma		321
„ „ powstawanie elektryczności skutkiem tarcia o siebie kropelek cieczy		255 321
Elma św. ognie		321
Elektromagnes, definicya	255	
„ Morse'a	262	
„ jak się robi.		190—191
Elektrodynamika	280—296	
Elektrody		53
Elektrochemija		51
Elektrofor		266—270
Elektroforowe (przenosząco-influencyjne) maszyny		305
Elektrodynamometr Webera-Frölicha	292—293	
„ Siemens'a i Halske'go	294—296	
Elektroliza		52
Elektrolizy prawa		74—80
Elektrolit		53
Elektromagnetyczna indukcyja	325	
„ jednostka natężenia prądu elektryczne- go, absolutna i prak- tyczna		301—302 446
„ teoria światła		
Elektromagnetyzm	176	
Elektrometr		9
„ Behrens'a		396
„ kwadransowy Henley'a		314
„ krążkowy Sir W. Thomson'a		393

	Tom I.	Tom II.
Elektrometr Hankel'a		396
„ kwadransowy Sir. W. Thom- son'a		398
Elektromotoryczna siła, E. M. S.; to samo co różnica potencya- łu R. P.	340	87, 94, 101
„ siła prądów wzbudzo- nych		93—146
„ siła bateryi		146
Elektromotoryczne siły pomiędzy metalami a cieczami przewodzącymi		411
Elektroskop o listkach złotych		216—225
„ -kondensator		7
Elektrostatyczna indukcya		258, 359—364
„ pojemność		293, 370
„ absolutna jednostka elek- tryczności		355
Elektrostatyczne rozmieszczenie		274—287
Elektrotypia albo galwanoplastyka		71—73
Elektryczne pole		293
Elektryczne maszyny oparte na tarcu		297
Elektryczny wysił		281
Elektryczność; dzieje i wyraz		196
Elektryzacya przez tarcie		197, 234
„ „ łupanie, gniecie i t. d.		251
Element prądu i biegun magnetyczny	321	
Elementarne prawo prądów indukcyjnych		93
Energija; prawo (zasada) zachowania energii	126	198
„ ruchu, kinetyczna, siła żywa, zasób pracy	125	
„ położenia, potencyalna.	126	
„ cieplna, termiczna		36
„ elektryczna		93
„ wyładowania		376
Erga, jednostka pracy	124	
Fale elektryczne		431, 436, 441
Farad, jednostka pojemności elektrycznej, ładunku elektrycznego		392
Faraday'a badanie rozmieszczenia elektro- statycznego		277
„ prawa elektrolizy		74—80

	Tom I.	Tom II.
Faraday'a prawo prądów wzbudzonych .	337	99
„ przyrząd rotacyjny	270—274	
Fechner'a elektroskop		396
Ferraris'a Galileo pomysł i przyrząd o po- lu wirującym		169
Fizeau kondensator		152
Fleming'a ogniwo		23—24
„ prawidło		98
Fluorescencya i fosforescencya		325
Formowanie płyt w akumulatorach		58
Foster'a przyrząd do mierzenia ciepła wy- tworzanego przez prąd w prze- wodniku		42—43
Fotoelektryczność		254
Fotofon Bell'a		115
Foucault'a prądy		151
Franklina Benjamina doświadczenie z bu- telką lejdejską		342
Galwaniego odkrycie		5
Galwaniczne pokrywanie metalami.		68—71
Gauss'a pomiary absolutne	130—141	
Galwanometri wykrywające, multiplikacy- tory	194	
Galwanometr wykładowy	196	
„ wykrywacz	196	
„ aperyodyczny	226	106
„ astatyczny	231—234	
„ skręceń, voltmetr	235—238	
„ (busola) stycznych	206—211	
„ Sir W. Thomsona	222—305	
„ wstaw	211—214	
„ zwierciadełkowy Sir. Thom- son'a	225—231	
„ różnicowy		135
„ balistyczny		103
Galwanoplastyka		71—73
Galwanoskop o złotych listkach		216
Galwanoskopy proste	193—194	
„ jak się robią.		180—184
Gęstość	22	
„ elektryczna		277
„ „ powierzchni		281, 291

	Tom I.	Tom II.
Gęstość pola		133
Gilbert dr.		196
Głowa róży w kompasie	102	
Gram, g, gr, jednostka siły	119	
Gramocentymetr	125	
Gramme'a dynamomaszyna		160
„ Pacinotti pierścień		161
Grawitacyjne ogniwa		18
Gregor'a Mc kompas	100	
Grove'go ogniwo		25—28
Hamilton'a młynek elektryczny		316
Hamowanie powietrzne magnesu	236	
„ wodne „	128	
„ przez indukcję, elektroma- gnetyczne		106
Hankel'a elektrometr.		396
Hartmann'a i Brown'a solenoidalny miernik prądu	260	
Hefner-Altenack'a induktor bębnowy, zbroja bębnowa		164
Henleya elektrometr kwadransowy		314
Henry, jednostka spólczynnika samoin- dukcyi		146
Hertza doświadczenia		431
Holtza machina elektrostatyczna		307
Hopkinson John dr., pomysł dynamoma- szyny	263	
Hystereza, opóźnianie	82—85	
Igła magnesowa pozioma, zboczeń	24	
„ kompasowa	116	
„ nachyleń	24, 168	
Indeks świetlny, smuga świetlna	229	
Impuls, popęd	321	
Indukcja magnetyczna	148	
„ „ wtórna	75	
„ „ elektromagnetyczna	325	
„ „ elektrostatyczna		258, 358
„ „ jednobiegunowa		165
„ „ przewodników		364—367

	Tom I.	Tom II.
Indukcyi zasadnicze prawo		97
Indukcyjne przyrządy		149
„ prądy	325—337	93
Induktor ziemski W. Webera		103
„ Rühmkorffa, cewka indukcyjna		153
Influencyjna maszyna		305
Inklinatoryum	25, 168	
Inklinacya, nachylenie	93—97	
Iskra elektryczna		314
Izodynamiczne linije. . . .	97	
Izogoniczne „	97	
Izokliniczne „	98	
Izolatory, nieprzewodniki		37, 228
Jamin'a magnes złożony	22	
Jarzmo elektromagnesu		191, 192
Jamieson'a prawidło kierunku prądów	185, 247	
Jądro żelazne	256, 261	
Jednostki zasadnicze. . . .	119	
„ pochodne	120	
Jednostka natężenia bieguna magnetycznego	130	
„ oporu: absolutna i praktyczna. . . .		87—88
„ siły elektromotorycznej		88, 94
„ ciepła, kalorya		40, 85
„ pracy mechanicznej, erga		89
„ elektromagnetyczna i elektrostatyczna		387, 388
Jednostkowe linije magnetyczne	131	
„ „ elektryczne		360
Jednofazowe prądy		167
Jednostkowy biegun magnetyczny. . . .	132	
Jony, atomy dodatnie i ujemne		53
Joule'a (Dżaula) prawo		42, 85—86
Joule, j, jednostka pracy		89
Kabel, lina elektryczna	225	
Kalorya, jednostka ciepła		40, 85
Kalibrowanie, mianowanie galwanometru. . . .		81, 135
„ „ elektrometru		398
Kalorymetr, przyrząd do oznaczania ciepła. . . .		90—92

	Tom I.	Tom II.
Leysera - Weinholda machina elektrosta- tyczna .		307
Lichtenberga figury, pozwalające odróżnić ładunki odjemne od dodatnich .		322
Linie sił magnetycznych	132, 29, 35	256
„ „ elektrycznych		
Luber-linia	103	
Ludolfa określenie wartości π	121	
Ładunkowy błąd kompasu	109	
Ładunki elektryczne		212
„ „ i prawo wzajemnego oddziaływania		213
„ elektrostatyczne		274, 293
„ przewodników		368
Łączenie bateryj, szeregowo, równoległe i mieszane		123—124
Łukowe światło		39—41
Magazyn magnetyzmu	19	
Magnesy naturalne; jak się je poznaje	5—6	
„ sztuczne; jak się robią	6—8	
„ trwałe: proste i złożone, w kształ- cie podkowy, magnes Jamin'a	16—23	
Magnesowa igła pozioma	23	
„ „ pionowa	24	
Magnesowanie przez proste pocieranie	6	
„ „ rozbieżne	8	
„ „ podwójne	9	
„ zapomocą prądu elektrycz- nego	9	
„ zapomocą elektromagnesu	9, 251	
„ właściwe	148	
Magnetoindukcyjne (magnetoelektryczne) maszyny		156
Magnetometr	223	
Magnetomotoryczna siła	152, 311	
Magnetyczna indukcya	147	
Magnetyczne linie krzywe	29—41	
„ paramagnetyczne, magneso- walne ciała	65	

	Tom I.	Tom II.
Magnetyczne pole zewnątrz i wewnątrz magnesu	32—41	
„ „ wywołane przez prąd kołowy	202—205	
„ „ wewnątrz i zewnątrz solenoidu	217—219	
„ „ wywołane wyłącznie przez magnes zakrzywiony	221	
„ „ wywołane przez łączne działanie magnesu i elektromagnesu	221	
„ „ elektromagnesu	256	
Magnetyzm okrętów żelaznych i stalowych	107	
„ sztabowy	139	
„ wolny; oznaczenie go	55—62	
„ ziemski	87—138	
„ trwałe i pozostający	84	
Masa właściwa, gęstość	121	
„ czynna w akumulatorach		59
Maxwell'a sposób wyrażania pola magnetycznego	1 2	
„ elektromagnetyczna teoria światła		446
Mc. Gregora kompas	100	
Mechaniczne jednostki	119	
Metr, m, jednostka długości; w końcu wyrazów złożonych równoznaczny z miernikiem	195	
Megaerga, megerga, 1000000 erg	125	
Meidinger'a ogniwo, bateria		21
Metronomiczne stacje	123, 343	
Miedniczka kompasu	101	
Mierniki solenoidalne prądu Blyth'a i Kohlrauscha		258
Miernik prądu Cardew		92
Mikro, przyrostek, równoznaczny z $1/1000000$		392
Mikrom = $1/1000000$ oma		88
Mikrofarad $\times = 1/1000000$ farada, mf.		392
Mikrofon		55

	Tom I.	Tom II.
Minotto ogniwo		22
Młotek Wagnera, Neeffa		153
Młynek elektryczny Hamiltona		316
Molekularna teoria magnesowania	44—48	
Moment magnetyczny	139	
„ obrotowy	139	
„ bezwładności	145	
Morse'a elektromagnes	262	
Muirhead'a bateria		23
Multyplikatory, galwanoskopy wykrywa- jące	194	
Nachylenie, inklinacya	93—97	
Napięcie końcówek bateryi		124
„ elektryczne powierzchni		370
Napięte siły, wysiły	160	
Następcze bieguny	81—82	
Nasylenie magnetyczne	49, 148	
Natężenie pola magnetycznego	133	
„ „ elektrycznego		360
„ prądu w jednostkach elektroma- gnetycznych i elektrosta- tycznych		390
„ magnetyzmu ziemskiego	138	
„ prądu absolutne	301	
„ „ w innym określeniu		101
Neeffa młotek		136
Neutralna, obojętna linia		322
Nieprzewodniki, izolatory	228	
Niestale stosy		30
Nieustające wylądowanie, prąd		322
Normalny, wzorcowy kompas	110	
„ „ opór		108
Obwód magnetyczny	46	
Odczynnikowy papierek dr. Maya		76
Odmagnesowanie stali	50—52	
Oersted'a przyrząd do badania wpływu prądów na igłę magnesową	191	
Ogniwo voltaiczne		9
„ Daniella		13

	Tom I.	Tom II.
Ogniwo balon		19
„ Callauda		21
„ normalne Fleminga.		23—24
„ Minotto		22
„ Grovego, platyna-cynk		25
„ Bunsena, węgiel-cynk		28
„ Leclanché		30
Ohm'a prawo	341	118
Okrętowy kompas	100—104	
Om, ω, jednostka oporu		8, 88, 95, 102, 107
Ochronny pierścień kondensatora		385
Odgąlenie prądu, prosty przypadek		131
Odpychanie ciał naelektryzowanych		205—208
Opór bateryi, mierzenie		142
„ izolacyi	230	121
„ magnetyczny	148	
„ wewnętrzny ogniwa		17—20
„ magnesów dynamomaszyny, mierzenie	316	
„ elektryczny właściwy		111
Oporowe skrzynki, oporniki		115—118
Opory cieczy, mierzenie ich		142
Opóźnianie, hystereza	82	
Oscylujące, wahadłowe wyładowanie		424
Oscylator, wibrator elektryczny		435
Oś magnetyczna	37	
Ozon, tworzenie się		284
Pachytrop		128
Pacinotti-Gramme'a pierścień		159
Paramagnetyczne (magnetyczne) ciała	151	
Paramagnetyzm, magnetyzm	119, 150	
Para astatyczna	113	
Pierścień Cardana	103	
„ ochronny		252
„ Pacinotti-Gramme'a		159
Piezoelektryczność		252
Piorunowe strzały, rurki		347
Planté'go sposób formowania płyt do akumulatorów		58
Płaszczyzna zwoju szpuli		102
Pneumatyczne napięcie, ciśnienie		246

	Tom I.	Tom II.
Pocieracz, nacieradło .		299
Podkowa magnesowa, magnes w kształcie podkowy .	20, 261, 317	
Podatność magnetyczna .	148	
Poggendorffa odczytywanie obiektywne przy pomocy zwierciadła .		400
Polarność, biegunowość solenoidu .	26	10
Polaryzacya kuli .	71	247
„ magnetyczna odwrotna .	81	
„ galwaniczna, w ogniwach .		10, 48
„ dielektryczna .		357
Pojemność, zdolność indukcyjna właściwa, stała dielektryczna .		334, 371, 386
„ w obu układach elektromagnetycznym i elektrostatycznym .		391—392
Południk magnetyczny .	89—91	
Pole magnetyczne ziemi .	138	
„ elektryczne .		293, 356
„ „ wirujące .		165
„ magnetyczne elektromagnesu .	256	
„ „ prądu prostoliniowego .	177, 241, 305	
„ „ „ kołowego .	202, 242, 304	
„ „ zewnętrzne i wewnętrzne .	32	
„ „ w obrębie i poza obrębem solenoidu .	217, 307	
Półprzewodniki .		37
Poszukiwacz biegunów .		76
Pozostający magnetyzm .	84	
Pozostały ładunek .		333
Potęgująca, lejdejska butelka .		337
Potencjał magnetyczny .	119, 152	
„ elektryczny .		281
„ elektrostatyczny .		360
„ przewodnika .		368
„ w obu układach .		390
Powierzchnie stałego potencjału, poziomu .		363
„ siły elektrycznej .		363
„ „ magnetycznej .	132	
Pozioma igła magnesowa .	23	

Praca magnesowania.	Tom I. 153	Tom II.
„ ładowania elektrycznego		376
Prawidło kierunku prądów indukcyjnych.		
„ „ „ Jamiesona	185, 247	
Prawo równego działania i przeciwdzia-		
łania	269	
Prądy Foucault'a		151
Prąd magnetyczny	119, 152	
„ prostoliniowy	178, 241, 305	
„ kołowy	202, 242, 300	
„ elektryczny całkowity		101
Promienie Roentgena, promienie X.		326
„ katodálne		325
„ siły elektrycznej		442
Przenikalność magnetyczna (permeability)	50, 148	
Przenosząco indukcyjne, influencyjne ma-		
szyny		305
Przewodnictwo		239
„ właściwe, zdolność prze-		
wodzenia		111
Przewodniki, konduktory		37, 228,
		237
„ niezupełne		238
Przewodzenie		238
Przerywacze ręczne, stroikowe		154
Przesunięcia elektryczne		357
Przyciąganie elektryczne		198—202
Przyciąganie i odpychanie magnetyczne	25	
„ jądra żelaznego przez sole-		
noid elektromagnetyczny.	257	
Przyspieszenie i opóźnienie	120	
„ kątowe	121	
„ normalne siły ciężkości g	122, 343	
Pyroelektryczność		254
Radyjan	121	
Raptowne, przebijające wyładowanie		322
Rawson'a, Woodhouse'a wskaźnik bie-		
gunów		75
Reostat zatyczkowy		117
Rezonans elektryczny		433
Rezonator elektryczny		435
Roget'a płaszczyzna spiralna	285	
Roentgena promienie.		326

	Tom I.	Tom II.
Rozmieszczenie elektrostatyczne, prawo .		287
Rozproszenie linii sił, rozproszone linie siły .	316	
Rozgałęzienie prądu, zwykły przypadek .		130
„ „ wielokrotne .		137
Rozkład wody .		54
Rozrzedzone gazy, wyładowania .		325
Równik sztaby magnesowej. .	37	
Równanie czasu .	89	
Równoległobok pól magnetycznych .	135	
Róża kompasu. .	104	
Różnica potencjału, R. P. .	339	132
„ pomiędzy elektrycznymi a magne- tycznymi liniami siły .		359
Rurka opróżniona (vacuum-tube) .		324
Rurki Geissler'a i Crookes'a .		324
„ sił .	132	
„ indukcji magnetycznej .	132	
„ „ elektrycznej. .		361
Rühmkorffa cewka indukcyjna .		153
 Samoindukcja; współczynnik sam. .		143—146
Scioptykon, latarnia czarnoksięzka. .		49
Sekunda .	121	
Seryjna, szeregowo dynamo. .		163
Shelforda Bidwella badanie wpływu ma- gnesowania na wydłużanie żelaza .	264—266	
Shunt, upust; zamknięcie, połączenie boczne .		131
Siemens'a i Halskego galwanometr skre- ceń, voltmetr .	235—238	132
„ jednostka oporu .		116
„ węgielki .		113
Siphon recorder, zapisywacz syfonowy .	344—345	
Siła koercyi .	50	
Siła .	122	
„ elektromotoryczna, E. M. S. .	340	87
„ „ bateryi .		146
„ magnetomotoryczna .	152, 311	
„ konia, S. K. .	124	90

	Tom I.	Tom II.
Składowa pozioma magnetyzmu ziemskiego	138, 142	
Skutek, dzielność (efekt)	127	
Skrzynki oporowe		115—118
Smith'a przepis o amalgamowaniu		13
Smuga świetlna, indeks świetlny	229	
Solenoid	216, 244	
„ jak się robi		185
„ elektromagnetyczny	216	
Solenoidalny miernik prądu prof. Blyth'a	258—261	
Spółczynnik samoindukcyi		143—146
„ wzajemnej indukcyi		150
„ zamiany w busoli stycznych	303	
„ „ w galwanometrach czułych		134
Sposoby magnesowania	8—14	
Stała galwanometru, współczynnik za- miany	303	
„ dielektryczna i oznaczenie		386
Stojące fale elektryczne		441
Stos Volty		6
Strata pracy	157	
Szalki, waga skręceń	129	
Szellakowy lakier		450
Szereg napięć galwanicznych		414
„ „ elektrostatycznych przez tarcie		251
„ „ termoelektrycznych		419
„ „ Volty		408
Szeregowa, seryjna dynamo		163
Szpula przyciągająca, ssąca	258	
Sztaba magnesowa prosta	17, 37	
„ „ złożona	19, 20	
Swana lampka żarowa		39
Światło elektryczne w kształcie kiści (wiązki)		324
„ łukowe		41
Świecenie elektryczne		323
Tablica naturalnych wstaw i stycznych	209	

	Tom I.	Tom II.
Tablica oporów ciał rozmaitych		37
„ „ właściwych		112
„ jednostek oporowych		115
„ oporów elektrolitów		114
Tabelka prądów indukcyjnych		336
Telefon.		154
Termiczna, cieplna energia		36
Termoelektryczność		254
Termometr elektryczny Breguet'a		38
„ „ Kinnersley'a		346
Tesli doświadczenia		426
Thomson'a elektrometr krążkowy		393
„ „ kwadransowy		398
„ galwanometr zwierciadel- kowy	225—231	
„ galwanometr stycznych	222	
„ kondensator o pierścieniu ochronnym		386
„ waga do prądów.	287	
Transformatory		154
„ z rdzeniem		174
„ metalowe		175
Trójfazowe prądy		170
Trwałe magnesy	16—23	
Trwały magnetyzm	84	
Tudora akumulatory		79
Volt, v, jednostka napięcia, ciśnienia elek- trycznego		8, 88
Voltamper, va, jednostka sprawności elek- trycznej.		89
Voltmetr, galwanometr skręceń	235	132
Volty szereg napięć		408
Waga, szalki skręceń Coulomba do badań magnetycznych	129	
„ szalki skręceń Coulomba do badań elektrycznych		353
„ Thomsona do prądów	287	
Wagnera młotek elektryczny		173
Wartość cieplna (Wärmetönung) ogniwa		416

	Tom I.	Tom II.
Watt, w, — ¹ / ₇₃₆ k. p., jednostka sprawności elektrycznej	127	
Ważenie siły indukcyjnej	257	89
Weinholda-Leyser'a (Holtza) machina in-fluencyjna		305—310
Webera elektrodynamometr.	292	
„ induktor ziemski		103
Wędrówka jonów		53
Wheatstone'a most; odmiana Kirchhoffa		138—141
Wirujące pole magnetyczne.		165
Wielofazowe prądy		165
Wintera maszyna taflowa; doświadczenia.		298—305
		313
„ pierścień		300
Wiedemanna przyrządy do elektrolizy		67—68
Wirowanie elektromagnetyczne	269—276	
„ elektrodynamiczne	180	
Wiatr elektryczny		286, 323
Wibrator, oscylator elektryczny		435
Woltametr, przyrząd do mierzenia produk-tów rozkładu przy elektro-lizie		53
„ Hofmanna		54
„ cynkowy, gazowy, srebrny, miedziany		80—82
„ do obiektywnego badania roz-kładów elektrochemicz-nych		76
Woodhouse'a i Rawson'a wskaźnik bie-gunów		75
Wtórne baterye, akumulatory		57—67
„ uboczne działania elektrolizy		78
Wydajność bateryi		126
Wyładowywacz powszechny.		141
„ obciążowy		338
Wytwarzanie ciepła przez prąd elektryczny		37, 90
Uciekanie (creeping)		238
Układ astatyczny	113	
Upust, (shunt).		131
Uzbrojony kamień magnetyczny	68	
Zamboniego stos		396

	Tom I.	Tom II.
Zamknięcie boczne, (shunt)		131
Zanurzana bateria Bunsena.		30
Zapisywacz syfonowy, (siphon recorder)	344—345	
Zasadnicze jednostki.	119	
Zasłony magnetyczne	63	
Zasób pracy, siła żywa, energia ruchu	125	
Zbroja dynamomaszyny	69, 164	159
„ spolaryzowana	70	
„ pierścieniowa		160
„ bębnowa		164
Zboczenie, deklinacja igły magnesowej	93	
Zbieracz prądu, kolektor		161
Zdolność, pojemność indukcyjna właściwa, stała dielektryczna		334, 371, 386
„ zatrzymywania, siła zatrzymu- jąca magnesu (retentivity, Coercitivkraft)	50	
Zwijanie się samoistne drutu naokoło ma- gnesu	276	
Żarowa lampa.		39
Żywa siła, zasób pracy, energia pracy	125	



WYKAZ DZIEŁ

uwzględnionych w jakikolwiek bądź sposób

W PRZEKŁADZIE POLSKIM.

- Jamieson A. Dr. Elemente des Magnetismus u. der Elektrizität. Insbesondere f. angehende Elektrotechniker übersetzt u. mit Zusätzen versehen v. dr. J. Kollert. Leipzig 1891.
- Jamieson A. Dr. Manual of Elements of Magnetism. a. Electricity. Third Edition. London Griffith 1894.
- Grunmach Leo Dr. Lehrbuch der magnet. u. elektrischen Maasseinheiten, Messmethoden u. Messapparate. Stuttgart 1895.
- Vallentin J. Dr. Lehrbuch der Elektricität u. des Magnetismus. Stuttgart 1897.
- Kittler E. Dr. Handbuch der Elektrotechnik. Zweite Aufl. Stuttgart 1892.
- Thompson S. P. Elektryczność i magnetyzm. Z ang. przełożył J. J. Boguski 1895.
- Thompson S. P. Die dynamoelektrischen Maschinen. Autorisirte deutsche Ausgabe v. Gravinkel. Halle 1 Th. 1893. 2 Th. 1894.
- Janet P. Premiers principes d'électricité industrielle. Paris 1893.
- Lefèvre J. Dictionnaire d'électricité avec Supplément Paris 1895. 2 éd.
- Sack u. Wilke. Elektrotechnisches Wörterbuch. Leipzig 1895.
- Munro a. Jamieson. Pocket-book of Electrical Rules and Tables 1891.
- Thomson J. J. Elemente der mathematischen Theorie der Elektrizität u. des Magnetismus. Autoris. deutsche Ausgabe v. G. Werthheim. Braunschweig 1897.
- Carhart H. S. Primärelemente. Bearb. u. erweitert v. P. Schoop Halle 1895.

- Heim C. Dr. Die Einrichtung elektrischer Beleuchtungsanlagen. Leipzig 1892.
- Heim C. Dr. Die Akkumulatoren f. stationäre elektrische Beleuchtungsanlagen 1897.
- Schoop P. Die Sekundärelemente. Halle 1895.
- Landolt H. Dr. u. Börnstein R. Dr. Physikalisch-Chemische Tabellen. Berlin 1894.
- Merczyng. Zasady elektrotechniki. Warszawa 1895 str. 291.
- Graetz L. Dr. Compendium der Physik 1895.
- Witkowski A. Zasady fizyki T. I. Warszawa 1892.
- Jędrzejewicz. Kosmografia. Warszawa 1886.
- Boguski J. J. Wstęp do elektrotechniki 1895 str. 95 tab. 3.
- Hołowiński. W. Z zakresu elektrotechniki. Odb. z „Przeglądu Technicznego” 1886 str. 95.
- Uppenborn. Kalender f. Elektrotechniker 1897.
-

ERRATA.

Uwaga. Wszystkie poprawki czytelnik powinien odnotować niezbędnie, zanim przystąpi do czytania dzieła.

Strona	wiersz	zamiast	powinno być
8	10	utrzymującą	utrzymując
25	15	Grove'go	Grove'go
30	18	Leclanch'e	Leclanché
31	w podpisie figury w. 1		
32	1	Leclanch	Leclanché
86	27	przednika	przewodnika
87	5	złatwością	z łatwością
88	22	$1 a = \frac{1 v}{1 w}$	$1 a = \frac{1 v}{1 \omega}$
	24	$J \left(a \right) = \frac{E (v)}{W (a)}$	$J \left(a \right) = \frac{E (v)}{W (\omega)}$
89	4	oznaczenie pracy	oznaczenie jednostki pracy
	dopisek w. 1	Wszystkie	*) Wszystkie
	„ w. 7	... w Edynbrgu.	... w Edynburgu
		Siły	siły
95	8	$v = 109 \text{ cm s}^{-1}$	$v = 10^9 \text{ cm s}^{-1}$
99	22	str. 337 t. I.	str. 337 t. I.
122	8	algebraicznie	algebraicznie

Strona	wiersz	zamiast	powinno być
151	3	owagę	uwagę
163	24	ramiona magnesu	nawinięcie ramion magnesu
168	2	wahadła	wahadłowe
173	20	$J_0(\sin \alpha + \frac{1}{2} \sqrt{3} \cos \alpha - \dots)$	$J_0(\sin \alpha + \frac{1}{2} \sqrt{3} \cos \alpha - \dots)$
218	w objaśnieniu		
	figury w. 4	szeroko rozwarty	rozplaszczony
224	9	zbadać stopniowo	zbadać, stopniowo
257	8	Ustal	Wskaż
277	19	izolowaną	izolowaną
331	ostatni wiersz		
	tablicy	$m \quad A$ $2n+1$	$2n+1$ $m \quad A$
356	11	magnetyczne	elektryczne
376	6	wielu	i wielu
395	5	dodatną	dodatnią
417	22	=	przypada
427	22	$C \propto \beta'$	$C \propto \beta \alpha'$
444	8	paraboliczne	parabolicznych
448	17	kształtu	kształtu η
70	na figurze 226 wyraz spoon zbyteczny.		

Dzieła tymże nakładem wydane:

Rs. k.
w oprawie

1. **Podręcznik dla palaczy kotłowych** *P. Braussera i A. Spennratha*, przetłumaczył na polski i uzupełnił *Dr Felicyan Łaszczyński*, for. 16-ki, str. 160, rysunków 53. — 60
2. **Mechanika doświadczalna**, wykład *Roberta S. Balla*, astronoma królewskiego, dawnego profesora matematyki stosowanej i mechaniki w irlandzkim kolegium naukowym. Z drugiego wydania angielskiego, przełożył *Stanisław Kramsztyk*, for. 16-ki, str. 426 rysunków 103 1 —
3. **Zarys przedzenia welny czesankowej** opracował *Stanisław Jakubowicz*, inżynier for. 16-ki, str. 82, rysunków 21 — 40
4. **Słownik polsko-rossyjsko-niemiecki terminów garbarskich**, ułożony przez *Felcjana Przyszychowskiego*, Inż. Chemika, czeladnika garbarskiego, for. 16-ki str. 30 . . — 15
5. **Przewodnik dla maszynistów** *E. F. Scholla*, tłumaczył *Aleksander Podworski*, Inż.-Technolog. Część 1-a, for. 16-ki, str. 382, rysunków 235. 1 50
Część 2-ga, for. 16-ki, str. 312, rysunków 179 . . . 1 20
6. **Podręcznik mechaniki dla średnich szkół technicznych i samouków.** *M. Lauensteina* inżyniera i prof w Karlsruhe. Przełożył *Józef Hofman*, inżynier, for. 16-ki, str. 264, rysunków 141 1 10
7. **Zasady magnetyzmu i elektryczności**, wyłożone dla uczniów elektrotechniki przez prof. *Andrzeja Jamiesona*, uzupełnione przez *Dr. J. Kollerta*, przełożył z 3-go wyd. ang. *St. Stelkiewicz*. Tom I-szy z licznymi figurami w tekście 1 35

Dzieła te są do nabycia we wszystkich księgarniach
w Warszawie i na prowincyi.



1000072379



Biblioteka im. Hieronima
Łopacińskiego w Lublinie

324072

T 2